

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh úprav zplyňovacího zařízení na biomasu v Teplárně Žiar nad Hronom

Draft of the Reconstruction of the Biomass Gasifier Heating Plant Žiar nad Hronom

Student:

Bc. Radim Fojtů

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Ostrava 2014

Kopie zadání

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Radim Fojtů

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dlouhá 26

Nový Jičín, 741 01

Česká republika

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Diplomová práce se zabývá zařízením pro zplyňování dřevní štěpky a kotle K6 o výkonu 75 t/h páry v teplárně umístěného v areálu firmy Dalkia Industry v Žiaru nad Hronom. Začátek práce se zabývá všeobecnou problematikou zplyňování, uvádí různé varianty zplyňování. Další část práce se zabývá zplyňovacím zařízením a kotlem K6 v Žiaru nad Hronom (detailní popis zařízení). Je proveden výpočet a tepelné bilance paliva pro kotel K6 a technicko-ekonomické zhodnocení přínosu rekonstrukce. Práce obsahuje navrhovanou úpravu zařízení pro zvýšení spolehlivosti provozu, která je zpracovaná ve formě výkresu. Ve výkresové dokumentaci je také zpracován výkres kotle K6 a zplyňovací jednotky. Poslední část grafické práce je schéma kotle K6.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

This thesis deals with equipment for the gasification of wood chips and boiler K6 power of 75 t / h of steam heating plant located in the premises of Dalkia Industry in Žiar nad Hronom. The first part deals with general issues of gasification, lists the different types of gasification. Another part deals with the gasification equipment and boiler K6 in Žiar nad Hronom (a detailed description of the device). The work includes the calculation of the heat balance of fuel for the boiler K6 and techno-economic evaluation of the benefits of reconstruction. The work includes the proposed adjustment of facilities to increase operational reliability, which is the processed as a drawing. In the drawings is also processed by drawing of K6 boiler and gasification unit. The last part of the graphic work is a diagram of the boiler K6.

# **Obsah**

<b>OBSAH .....</b>	<b>6</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉHO OZNAČENÍ .....</b>	<b>9</b>
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>13</b>
<b>2. PODSTATA ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY .....</b>	<b>14</b>
<b>3. TEORIE ZPLYŇOVÁNÍ.....</b>	<b>15</b>
3.1 PRINCIP .....	15
3.2 PARAMETRY PROCESU ZPLYŇOVÁNÍ .....	18
3.2.1 Přebytek vzduchu .....	18
3.2.2 Plošná rychlost.....	18
3.2.3 Výhřevnost plynu .....	19
3.2.4 Průtok a množství plynu .....	19
3.2.5 Účinnost.....	19
3.2.6 Spotřeba paliva .....	19
3.2.7 Dehty a unášivé částice.....	19
3.3 VLASTNOSTI BIOMASY OVLIVŇUJÍCÍ ZPLYŇOVÁNÍ .....	20
3.3.1 Vlhkost paliva.....	20
3.3.2 Obsah popela a jeho složení .....	20
3.3.3 Prvkové složení.....	21
3.3.4 Výhřevnost .....	21
3.3.5 Sypná hmotnost a zrnitost.....	21
3.3.6 Podíl prchavých látek .....	21
3.3.7 Požadavky na úpravu suroviny.....	21
<b>4. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ZPLYŇOVAČŮ .....</b>	<b>22</b>
4.1 ZPLYŇOVACÍ REAKTORY S PEVNÝM LOŽEM .....	23
4.1.2 Protiproudý zplyňovací reaktor .....	23
4.1.3 Souproudý zplyňovací reaktor.....	24
4.1.4 Souproudý zplyňovací reaktor s otevřeným jádrem .....	25
4.1.5 Zplyňovací reaktor s křížovým tokem.....	25
4.1.6 Porovnání zplyňovacích reaktorů s pevným ložem .....	26
4.2 ZPLYŇOVAČE S FLUIDNÍM LOŽEM .....	28
4.2.1 Stacionární fluidní vrstva (BFB - bubbling fluidised bed) .....	29
4.2.2 Cirkulující fluidní vrstva (CFB – circulating fluidised bed).....	29

<b>5. ÚPRAVA PLYNU.....</b>	<b>31</b>
<b>6. TECHNICKÝ POPIS.....</b>	<b>32</b>
6.1 DOPRAVA PALIVA.....	32
6.1.1 Štěpkové hospodářství.....	32
6.1.2 Operativní zásobníky.....	34
6.2 PŘEDŘAZENÁ TECHNOLOGIE.....	35
6.2.1 Popis technologie.....	36
6.2.2 Zplyňovací reaktor (Gasifier).....	38
6.2.3 Torzní komora (Torsional Chamber).....	41
6.3 KOTEL.....	44
6.3.1 Úpravy kotle.....	44
6.3.2 Materiálové provedení.....	44
6.3.3 Nátěry.....	44
6.3.4 Tepelné izolace.....	45
6.4 ELEKTROODLUČOVAČ.....	46
6.5 VÝMĚNÍK TEPLA.....	47
<b>7. MĚŘENÍ PARAMETRŮ ZPLYŇOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>48</b>
7.1 METODIKA MĚŘENÍ.....	49
7.1.1 Stanovení složení plynu.....	49
7.1.2 Stanovení obsahu dehtu.....	50
7.1.3 Měření koncentrace tuhých znečišťujících látek v plynu.....	51
7.2 MĚŘENÍ.....	53
7.2.1 Stanovení složení syntézního plynu.....	53
7.2.2 Stanovení obsahu dehtu a tuhých znečišťujících částic v plynu.....	54
<b>8. VÝPOČET A TEPELNÉ BILANCE PALIVA KOTLE K6. ....</b>	<b>55</b>
8.2 VÝPOČET VÝHŘEVNOSTI:.....	57
8.3 VÝPOČET SPALOVACÍHO VZDUCHU.....	57
8.3.1 Výpočet teoretického množství kyslíku.....	57
8.3.2 Výpočet teoretického množství vzduchu.....	58
8.3.3 Výpočet skutečného množství vzduchu.....	58
8.3.4 Výpočet skutečného, vlhkého množství vzduchu.....	58
8.4 SPALINY.....	58
8.4.1 Výpočet množství oxidu uhličitého ve spalinách.....	58
8.4.2 Výpočet množství kyslíku ve spalinách.....	58
8.4.3 Výpočet množství dusíku ve spalinách.....	59

8.4.4	Výpočet množství vody ve spalinách .....	59
8.4.5	Celkové množství suchých spalin.....	59
8.4.6	Celkové množství vlhkých spalin.....	59
8.5	KONCENTRACE SLOŽEK VE SPALINÁCH .....	59
8.6	VÝPOČET ÚČINNOSTI NEPŘÍMOU METODOU .....	61
8.6.2	Ztráta mechanickým nedopalem.....	61
8.6.3	Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků .....	62
8.6.4	Ztráta chemickým nedopalem.....	63
8.6.5	Ztráta citelným teplem spalin (komínová ztráta).....	64
8.6.6	Ztráta sdílením tepla do okolí .....	64
8.6.7	Celkové ztráty .....	65
8.6.8	Celková účinnost .....	65
8.7	MNOŽSTVÍ PALIVA.....	65
8.7.1	Výpočet potřebného množství syntézního plynu.....	65
8.7.2	Výpočet potřebného množství dřevní štěpky .....	65
8.7.3	Výpočet potřebného paliva (dřevní štěpky) pro jeden reaktor .....	66
<b>9.</b>	<b>NÁVRH ÚPRAV ZAŘÍZENÍ PRO ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI PROVOZU .....</b>	<b>67</b>
<b>10.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>69</b>
<b>11.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>70</b>
<b>12.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>71</b>



## Seznam použitého označení

Značka	Jednotka	Název
$A^r$	[%]	Množství popeloviny v palivu v surovém stavu
$C_{popel}$	[%]	Obsah hořlaviny v popelu
$C_{popilek}$	[%]	Obsah hořlaviny v popílku
$c_{popel}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}$	Měrná tepelná kapacita popelu
$c_{popilek}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}$	Měrná tepelná kapacita popílku
$c_{psp}$	$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}$	Měrná tepelná kapacita spalín
$k_1$	-	Konstanta pro spalování plynu
$m_{CO}$	$\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}\text{N}$	Množství oxidu uhelnatého ve spalínách
$\dot{m}_{pal,pl}$	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Spotřeba paliva - syntézního plynu
$\dot{m}_{pal,dš}$	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Spotřeba paliva – dřevní štěpky
$\dot{m}_{pal,dš,reaktor}$	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Spotřeba paliva pro jeden reaktor – dřevní štěpky
$n$	-	Přebytek vzduchu při spalování
$P_{jm}$	MW	Jmenovitý výkon
$P_{kotle}$	$\text{MJ}\cdot\text{s}^{-1}$	Výkon kotle
$P_{sk}$	MW	Skutečný výkon
$Q_{Cpopel}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	Výhřevnost hořlaviny v popelu
$Q_{Cpopilek}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	Výhřevnost hořlaviny v popílku
$Q_i^{dehtu}$	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	Výhřevnost dehtů
$Q_i^{CH_4}$	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$	Výhřevnost metanu

Značka	Jednotka	Název
$Q_i^{CO}$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Výhřevnost oxidu uhelnatého
$Q_i^{H_2}$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Výhřevnost vodíku
$Q_{i,dš}^r$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Výhřevnost dřevní štěpky
$Q_{i,pl}^r$	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Výhřevnost syntézního plynu
$t_{ok}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota okolí
$t_{popel}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota popela
$t_{popilek}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota popílku
$t_{sp}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota spalin
$V_{CH_4}$	$m_{CH_4}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství metanu
$V_{CO}$	$m_{CO}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství oxidu uhelnatého
$V_{CO_2}$	$m_{CO_2}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství oxidu uhličitého
$V_{dehtu}$	$g_{dehtu} \cdot m_N^{-3}$	Množství dehtů
$V_{H_2}$	$m_{H_2}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství vodíku
$V_{H_2O}$	$m_{H_2O}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství vody
$V_{N_2}$	$m_{N_2}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství dusíku
$V_{O_2}$	$m_{O_2}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství kyslíku
$V_{o_2,t}$	$m_{o_2}^3 \cdot m_{N,plynu}^{-3}$	Teoreticky potřebné množství kyslíku
$V_{sp}^s$	$m_{sp}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství suchých spalin
$V_{sp}^V$	$m_{sp}^3 \cdot m_N^{-3}$	Množství vlhkých spalin

<b>Značka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Název</b>
$V_{VZ,sk}$	$m_{VZ}^3 \cdot m_{N,plynu}^{-3}$	Skutečně potřebné množství vzduchu
$V_{VZ,sk}^V$	$m_{VZ}^3 \cdot m_{N,plynu}^{-3}$	Skutečně potřebné množství vlhkého vzduchu
$V_{VZ,t}$	$m_{VZ}^3 \cdot m_{N,plynu}^{-3}$	Teoreticky potřebné množství vzduchu
$X_{popel}$	[%]	Stupeň zachycení popela
$X_{popilku}$	[%]	Stupeň zachycení popílku
$\eta$	[%]	Účinnost
$\nu$	-	Součinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti
$\omega_{CO}$	[%]	Koncentrace oxidu uhelnatého ve spalínách
$\omega_{CO_2}$	[%]	Koncentrace oxidu uhličitého ve spalínách
$\omega_{H_2O}$	[%]	Koncentrace vody ve spalínách
$\omega_{N_2}$	[%]	Koncentrace dusíku ve spalínách
$\omega_{O_2}$	[%]	Koncentrace kyslíku ve spalínách
$\xi_C$	[%]	Celková ztráta mechanickým nedopalem
$\xi_{celkem}$	[%]	Celkové ztráty
$\xi_{Cpopel}$	[%]	Ztráta mechanickým nedopalem v popelu
$\xi_{Cpop}$	[%]	Ztráta mechanickým nedopalem v popílku
$\xi_F$	[%]	Celková ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků
$\xi_{Fpopel}$	[%]	Ztráta fyzickým teplem v popelu
$\xi_{Fpopilek}$	[%]	Ztráta fyzickým teplem v popílku
$\xi_{CHN}$	[%]	Ztráta chemickým nedopalem

<b>Značka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Název</b>
$\xi_k$	[%]	Ztráta citelným teplem spalin
$\xi_{sv}$	[%]	Ztráta sdílením do okolí
$\xi_{svj}$	[%]	Ztráta sdílením do okolí při jmenovitém výkonu

# 1. Úvod

Téma diplomové práce návrh úprav zplyňovacího zařízení na biomasu v Teplárně Žiar nad Hronom jsem si vybral, protože mě zaujala přestavba teplárenského práškového kotle na kotel spalující plyn vzniklý zplyňováním biomasy (dřevní štěpky) a taky skutečnost, že se jedná o jedno z největších zařízení svého druhu v Evropě.

V teoretické části se nejprve budu věnovat problematikou zplyňování (obecně) a pro jednoduché porovnání i uvedu různé možnosti zplyňování. Dále se budu zabývat zplyňovacím zařízením a kotlem K6 v Žiaru nad Hronom, kde detailně popíšu jednotlivá zařízení. Součástí diplomové práce budou popis a výsledky měření, které bylo provedeno na samotném zplyňovacím zařízení. Cílem tohoto měření je určení složení generovaného plynu ze zplyňovacího zařízení. Toto zjištěné složení plynu, bude ve výpočtové části diplomové práce využité pro výpočet stechiometrie. Výpočtová část bude osahovat i výpočet účinnosti a spotřebu paliva. Další kapitolou práce bude návrh úpravy zařízení pro zvýšení spolehlivosti provozu. Na konec textové části provedu technicko-ekonomické zhodnocení přínosu rekonstrukce.

Součástí diplomové práce budou i grafické práce. Schéma kotle K6, výkres kotle K6 se zplyňovacími jednotkami a dalšími zařízeními. A poslední bude zpracovaný technický výkres navržené úpravy zařízení pro zvýšení spolehlivosti provozu.

Cílem diplomové práce je tedy shrnout dostupné informace o zplyňování a hlavně stávajícím zplyňovacím a spalovacím zařízením kotle K6, provést výpočty vedoucí k výsledkům pro účinnost a množství paliva, navrhnout úpravy na zařízení pro zvýšení spolehlivosti provozu a následně zhodnotit rekonstrukci. A dále vypracovat příslušnou technickou a výkresovou dokumentaci.

## **2. Podstata zplyňování biomasy**

Základní surovině (biomase), která může mít velice nízkou nebo dokonce zápornou energetickou hodnotu, zplyňování tuto hodnotu zvyšuje přeměnou na prodejné palivo či další produkty. Zplyňování je dobře známo u fosilních paliv, kde je komerčně používáno. Při zplyňování biomasy se vyskytuje několik problémů, které jsou spojeny s jejími vlastnostmi. Hlavními rozdíly jsou větší podíly prchavých složek v biomase a tvarová různorodost.

Zplyňování se také nazývá „fázové spalování“, protože plyn je obvykle vyprodukován se záměrem jeho pozdějšího spálení.

Základní výhody zplyňování oproti spalování:

- možnost dopravy potrubím
- jednoduchost kontroly a plynulost režimu
- čisté spalování produkovaného plynu (generátorový plyn, energoplyn, syntézní plyn) z důvodu možnosti odstranění nečistot z generátorového plynu
- účinné a čisté spalování z důvodu možnosti promíchání plynu s přesným množstvím požadovaného spalovacího vzduchu
- generátorový plyn může být použit v motorech s vnitřním spalováním nebo v parních turbínách, a to s vyšší účinností než u parních zařízení
- generátorový plyn, může být použit pro chemické syntézy k výrobě chemikálií nebo pohonných látek

### 3. Teorie zplyňování

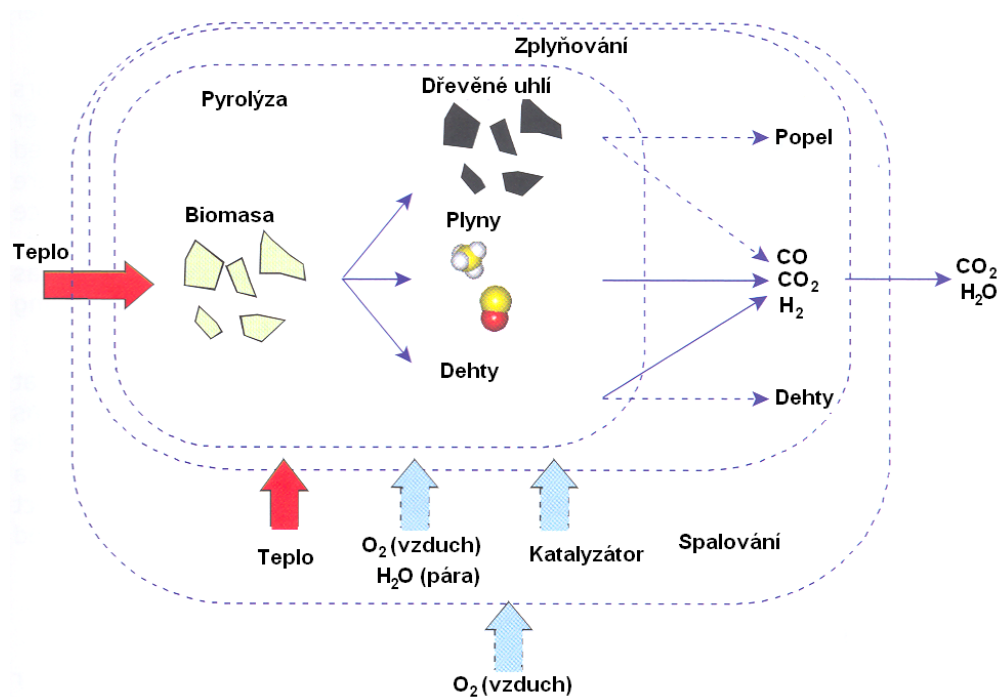
#### 3.1 Princip

Základní surovině (biomase), která může mít velice nízkou nebo dokonce zápornou energetickou hodnotu, zplyňování tuto hodnotu zvyšuje přeměnou na prodejné palivo či další produkty. Proces zplyňování biomasy je poměrně složitý z chemického hlediska. Obsahuje tyto body:

- tepelný rozklad na plyn, kondenzující páry a dřevěné uhlí (pyrolýza),
- tepelné štěpení par na plyn a dřevěné uhlí,
- zplyňování dřevěného uhlí parou nebo oxidem uhličitým,
- částečná oxidace hořlavých plynů, složek a dřevěného uhlí.

Na Obrázek 3.1. je zobrazeno schéma tohoto procesu. Odplynění neboli pyrolýza je mírně endotermická reakce, kde je při teplotě nad 500°C vyprodukováno 75 až 90 % prchavé hořlaviny. Prchavá hořlavina se skládá z vodní páry, plynů a kondenzujících uhlovodíků. Od poměru přívodu tepla a konečné teploty je závislý relativní výnos plynů, kondenzujících složek a dřevěného uhlí. Vysoká provozní teplota je udržována několika způsoby (dle typu zplyňovacího reaktoru):

- spalováním části produkovaného plynu
- spalováním produkovaného dřevěného uhlí
- částečným spalováním zplyňovaného materiálu



Obrázek 3.1 Schéma zplyňování

V generovaném plynu je oxid uhelnatý, vodík a metan (žádané složky) a dále je zde podíl vodní páry, oxidu uhličitého a dusíku. Přesné složení plynu je dáno rovnováhou přeměny na vodní plyn, což je chemická reakce mezi vodní párou a oxidem uhelnatým na jedné straně a vodíkem a oxidem uhličitým na druhé straně. Navzdory příznivé rovnovážné konstantě při 900°C se rozklad metanu na oxid uhličitý a vodík při atmosférickém tlaku nevyskytuje kvůli pomalé rychlosti reakce. Výhřevnost plynu se bývá zpravidla od 4 do 6 MJ/Nm<sup>3</sup> při zplyňování vzduchem a 13 až 15 MJ/Nm<sup>3</sup> při zplyňování kyslíkem nebo vodní parou.

Reakce mezi dřevěným uhlím a plyny (CO<sub>2</sub>, pára) jsou pomalejší a ovlivňují celkovou rychlost a účinnost zplyňování. Dřevěné uhlí obsahuje velké množství uhlíku (85%). Obsah uhlíku, vodíku a kyslíku v dřevěném uhlí je závislý na zóně, ve které se uhlí vyskytuje. Účinnost zplyňovače závisí na stupni zplynění dřevěného uhlí. Popel ze zplyňovače by tedy neměl obsahovat uhlík a měl by být kompletně prohořelý.

Důležitou záležitostí tvorba kondenzujících par – dehtů, které jsou zvláště rizikové z důvodu zanášení hnacího motoru kogeneračních jednotek. Dehtů se lze zbavit při instalaci účinného čistícího systému nebo vysokoteplotním zplyňováním.



Biomasa obsahuje taky nízkotavitelné minerální látky, ty mohou způsobovat spékavost při teplotách nad 850°C. Ale u vysokoteplotních zplyňovacích zařízení je tento problém řešen tak, že se minerální látky roztaví a odvedou se v tekuté formě.

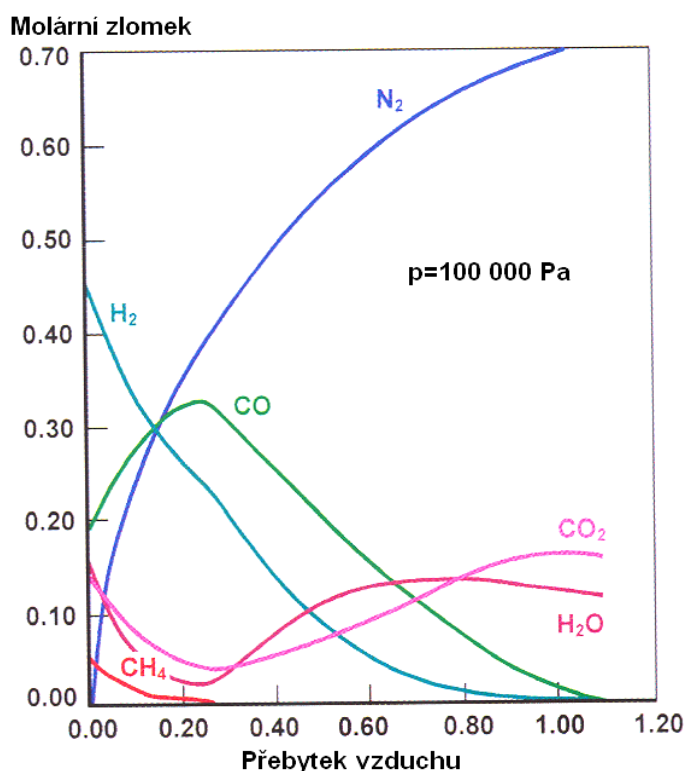
## 3.2 Parametry procesu zplyňování

### 3.2.1 Přebytek vzduchu

Na grafu 3.1 vidíme křivku, nám určuje jak složení plynu, tak také jeho energetický potenciál.

Při nulové hodnotě přebytku vzduchu představuje graf pyrolýzu a na pravé straně, kde je přebytek vzduchu větší než jedna, představuje spalování. Změna v průbězích křivek nastává při hodnotě přebytku vzduchu 0,25, kde je všechno dřevěné uhlí přeměněno na plyn a ten má při této hodnotě nejvyšší energetickou hodnotu. V tomto bodě je také maximální hodnota koncentrace CO a minimální hodnota koncentrace CO<sub>2</sub>.

Při nižších hodnotách přebytku vzduchu se část paliva nepřemění a zůstává ve formě dřevěného uhlí. Při vyšším obsahu přebytku vzduchu dochází ke spalování části plynu, a tím roste teplota.



Graf 3.1 Složení plynu jako funkce přebytku vzduchu

### 3.2.2 Plošná rychlost

Plošná rychlost je definována jako průtok v m<sup>3</sup>/s příčnou plochou reaktoru v m<sup>2</sup>. Skutečná rychlost je mnohem větší z důvodu přítomnosti biomasy v reaktoru. Malá plošná rychlost představuje pyrolýzu, tím dochází k velkému výnosu dřevěného uhlí a tvorbě dehtů.

Je to jeden z nejdůležitějších parametrů ovlivňující provedení reaktoru, řízení zplyňovače, energetický obsah plynu, spotřebu paliva, výstupní výkon a tvorbu dehtů.

### 3.2.3 Výhřevnost plynu

Výhřevnost plynu se obvykle uvádí v jednotkách MJ/Nm<sup>3</sup>. Metr krychlový normální je metr kubický při teplotě 0°C a tlaku 101 325 Pa. Rozlišujeme výhřevnost a spalné teplo plynu, protože se tyto hodnoty u plynů obsahující uhlovodíky nebo vodík liší.

### 3.2.4 Průtok a množství plynu

Průtok plynu se dá určit z průtoku primárního vzduchu, nebo může být měřený clonou, Venturiho nebo Pitotovou trubicí nebo také rotametrem. Při měření průtoku měříme taky teplotu a tlak pro správné určení průtoku v normálních metrech krychlových. Rychlost v potrubí se volí okolo 15 m/s, abychom se vyhnuli ucpání potrubí pevnými částicemi.

### 3.2.5 Účinnost

Účinnost zplyňovacího zařízení se může určit jak ze studeného plynu nebo z teplého plynu. Účinnost ze studeného plynu je chemická energie generátorového plynu podělená chemickou energií biomasy, zatímco účinnost vyjádřená z teplého plynu je chemická a tepelná energie generátorového plynu podělená chemickou energií biomasy. U dobře izolovaných zplyňovacích reaktorů se účinnost z teplého plynu může blížit 100 %.

### 3.2.6 Spotřeba paliva

Spotřebu paliva potřebujeme pro určení účinnosti zplyňovacího zařízení a celkové účinnosti. Dá se měřit rozdílem nebo automatickým měřicím zásobníkem. Může být vyjádřena jako hmotnostní tok (kg/h), jako hmotnost na vyrobenou jednotku energie (kg/kW.h).

*Tabulka 3.1 Specifické parametry zplyňování*

Parametr	Jednotka	Hodnota
Produkce plynu	Nm <sup>3</sup> /kg	2 - 3
	Nm <sup>3</sup> /kW.h	2 - 3
Spotřeba paliva	kg/kW.h	1 - 1,3
Účinnost ze studeného plynu	%	70 - 80
Účinnost z teplého plynu	%	85 - 95
Přebytek vzduchu	1	0,25
Výkon	kg/m <sup>2</sup> .h	500 - 2000

### 3.2.7 Dehty a unášivé částice

Množství dehtů a unášivých částic v plynu je hlavně závislé na konstrukci zplyňovacího reaktoru a podmínkách (hlavně na zatížení). Při nižších výkonech se tvorba

dehtů zvyšuje a snižuje se tvorba unášivých částic. Naopak při výkonech vyšších se tvorba dehtů zmenšuje a roste tvorba unášených částic.

### **3.3 Vlastnosti biomasy ovlivňující zplyňování**

Jednotlivé druhy biomasy mají vlastní specifické vlastnosti, které ovlivňují použití jako paliva ve zplyňovacích jednotkách. Základními vlastnostmi ovlivňujícími zplyňování jsou:

- Vlhkost paliva,
- obsah popela a jeho složení,
- prvkové složení,
- výhřevnost,
- sypná hmotnost a zrnitost,
- podíl prchavých látek,
- ostatní znečišťující látky jako N, S, Cl, alkálie, těžké kovy atd.

#### **3.3.1 Vlhkost paliva**

Vlhkost paliva vyjadřuje podíl vody v palivu k hmotnosti vlhkého paliva. Pro zplyňování je lepší suchá biomasa z důvodu kvalitnějšího produkovaného plynu – vyšší výhřevnost, nižší podíl dehtů a vyšší účinnost.

Pro snížení obsahu vody v palivu je zde možnost vysoušení paliva. Přírodní formou na poli, které je levné, ale vyžaduje dlouhý čas. Nebo sušení v sušičkách, které je naopak dražší, ale účinnější.

#### **3.3.2 Obsah popela a jeho složení**

Popel je anorganická nebo minerální část obsahu v biomase, který zůstane po dokonalém spálení. Obsah popeloviny u různých biomas je dost odlišný. Od 0,1 % u dřeva až po 15 % u zemědělských plodin. Obsah popeloviny ovlivňuje konstrukci reaktoru.

Chemické složení popeloviny ovlivňuje jeho tavitelnost. Roztavená popelovina způsobuje zastruskování v reaktoru, což může nakonec zablokovat celý reaktor (nevýtavné zplyňovací zařízení).

### 3.3.3 Prvkové složení

Prvkové složení má vliv na výhřevnost plynu a úroveň emisí. Produkce sloučenin dusíku a síry je zpravidla malá, protože biomasa má většinou malý obsah těchto látek.

### 3.3.4 Výhřevnost

Výhřevnost ovlivňují tyto faktory: obsahem vody v palivu, chemické složení a obsah popelovin. Výhřevnost se určuje laboratorně a početně ze složení paliva.

### 3.3.5 Sypná hmotnost a zrnitost

Sypná hmotnost představuje hustotu materiálu a u různých druhů biomasy se liší. Dohromady s výhřevností tvoří energetickou hustotu materiálu (potenciál energie v jednotce objemu). Biomasa s malou sypnou hustotou je náročná na manipulaci, transport a skladování. Sypná hmotnost je důležitý parametr ovlivňující provedení reaktoru s pevným ložem. Velké nerovnosti způsobují tvorbu kanálů, vytvoření můstků, nekompletní zplynění a pokles kapacity zplyňovače.

Sypná hmotnost se pohybuje od 100 do 1000 kg/m<sup>3</sup> podle toho, jaká biomasa je dostupná – štěpka, volná biomasa, balíky atd.

### 3.3.6 Podíl prchavých látek

Množství prchavých látek má velký vliv na tvorbu dehtů (kromě provozního režimu, konstrukce reaktoru). Obsah prchavých látek v biomase bývá mezi 50 a 80 %.

### 3.3.7 Požadavky na úpravu suroviny

Úprava suroviny se provádí skoro u všech druhů biomasy kvůli velké různorodosti fyzikálních vlastností, chemických vlastností a tvarových vlastností.

Požadavky na paliva pro různé druhy zplyňovačů ukazuje **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

Typ zplyňovače		Souproudý	Protiproudý	Fluidní	Unášivý
Velikost	mm	20 - 100	5 - 100	10 - 100	< 1
Vlhkost	%	< 20	< 50	< 40	< 15
Obsah popela	%	< 5	< 15	< 20	< 20
Zrnitost	-	stejnorodá	téměř stejnorodá	stejnorodá	stejnorodá
Sypná hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	> 500	> 400	> 100	> 400
Teplota tavení popela	°C	> 1250	> 1000	> 1000	> 1250

*Tabulka 3.2 Požadované vlastnosti na palivo u jednotlivých zplyňovacích zařízeních*

## **4. Konstrukční řešení zplyňovačů**

Zplyňovače mohou být rozděleny podle různých hledisek.

Dle zplyňovacího média:

- vzduchové
- kyslíkové
- parní

Podle tlaku ve zplyňovači:

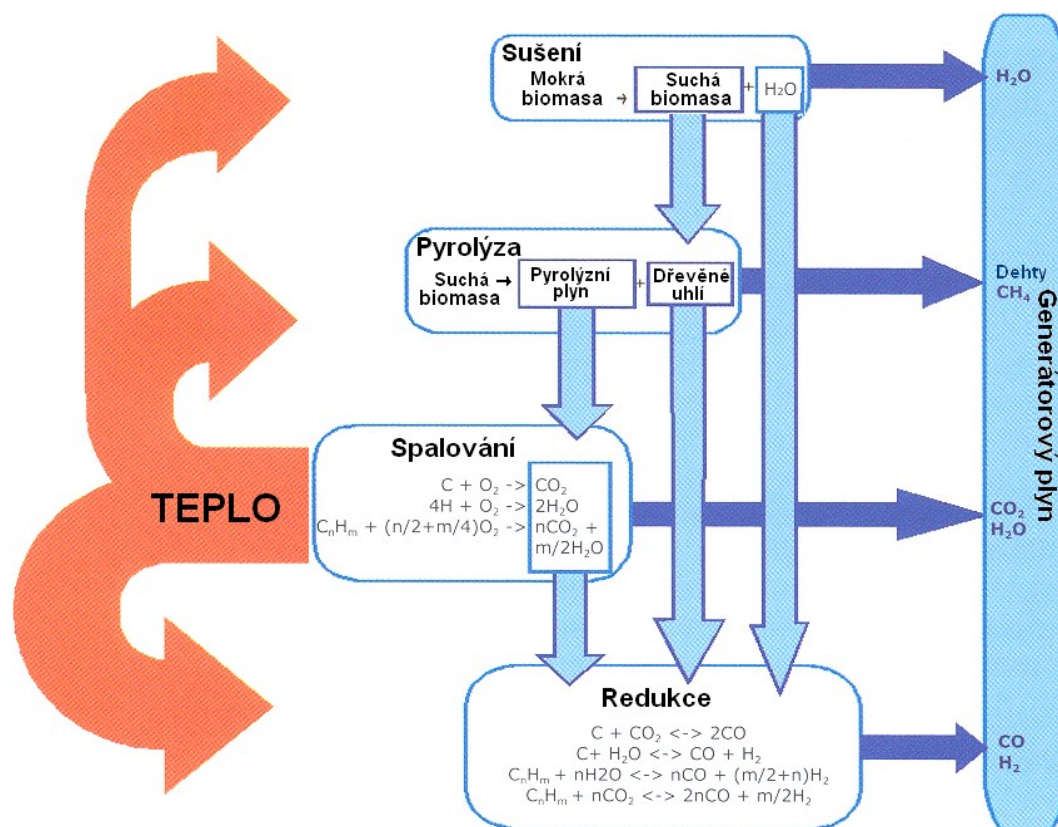
- atmosférické
- tlakové

Podle konstrukce reaktoru:

- s pevným ložem
- s fluidním ložem
- s unášivým proudem
- se zdvojeným ložem

## 4.1 Zplyňovací reaktory s pevným ložem

Na Obrázek 4.1 je znázorněn zplyňovací proces a tepelné toky z oxidační zóny do ostatních. Teplo potřebné pro zplyňovací procesy může být dodáváno přímo částečnou oxidací paliva (autotermalní) nebo nepřímým přenosem tepla (alotermální).



Obrázek 4.1 Tepelné toky a chemické reakce u reaktoru "downdraft" – souproutého

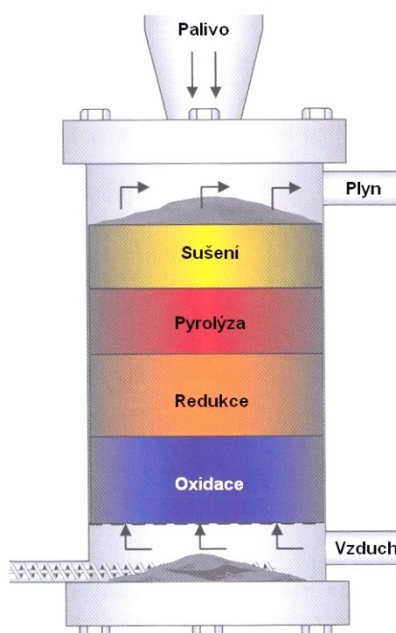
Reaktory s pevným ložem bývají charakterizovány směrem proudění plynu reaktorem (vzestupné proudění, klesající proudění, horizontální) nebo dle hlavního směru toku pevných částic a proudu plynu (souprouté, protiprouté, s křížovým prouděním).

### 4.1.2 Protiproutý zplyňovací reaktor

Nejjednodušším typem zplyňovacího reaktoru je protiproutý reaktor s pevným ložem (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Biomasa je dávkována na vrcholu reaktoru a pohybuje se směrem dolů vlivem zplyňování a odvodu popela. Přívod vzduchu je na dně a plyn opouští reaktor vrchem reaktoru. Biomasa se pohybuje v protiproudu k proudu vzduchu, prochází přes sušící, pyrolýzní, redukční a oxidační zónu.

Jednoduchost je hlavní výhodou tohoto typu zplyňovacího reaktoru, dalšími výhodami jsou: vysoký stupeň vyhoření dřevěného uhlí, velká vnitřní výměna tepla, která vede k relativně nízké teplotě výstupního plynu a vysoké účinnosti zplyňování a také díky velké vnitřní výměně tepla a vysušení v horní části může reaktor zplyňovat i velice vlhké palivo. Navíc je v reaktoru tohoto typu možno zplyňovat jak malé tak větší kusy biomasy.

Hlavní nevýhodou je tvorba velkého množství dehtů a pyrolýzních produktů, jelikož není pyrolýzní plyn zplyňován. Toto není důležité, pokud se plyn užívá pro přímé spalování, při kterém jsou dehty jednoduše spáleny.



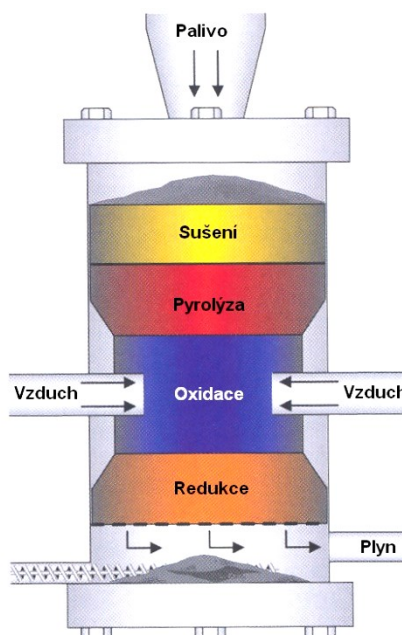
*Obrázek 4.2 Protiproudý zplyňovací reaktor*

#### 4.1.3 Souproudý zplyňovací reaktor

U souproudého zplyňovacího reaktoru je většinou palivo dodáváno vrchem a vzduch je přiváděn taky z horní části (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Generovaný plyn je odváděn dnem reaktoru. Plyn a biomasa mají stejný směr pohybu. Vstupy a výstupy mohou být orientovány opačně. Ve zplyňovacím reaktoru se vyskytují stejné zóny jako u protiproudého, ale s jiným uspořádáním. Přívod vzduchu do oblasti dřevěného uhlí (po zplynění) je výborný předpoklad k dosažení nízkých emisí dehtů.

Výhodou je tedy tak nízká produkce dehtů, že je skoro dostačující pro aplikaci ve spalovacích motorech.





**Obrázek 4.3** *Souproudý zplyňovací reaktor*

Při snížení výkonu reaktoru dochází k poklesu teploty, a tím ke zvýšení produkce dehtů. Produkce unášivých částic naopak klesá. Naopak při provozu na výkonu vyšším než je jmenovitý, opět rostou emise dehtů, z důvodu kratší doby setrvání pyrolýzního plynu v oxidační zóně, navíc roste i množství unášených částic. Plyn bez dehtů v celém pracovním rozsahu se vyskytuje zřídka. Nevýhodou souproudého zplyňovače je velké množství částic v plynu protože, plyn prochází oxidační zónou, odkud jsou částice unášeny. Následkem je vyšší teplota výstupního plynu, a tím nižší účinnost. Souproudý zplyňovací reaktor klade poměrně přísné požadavky na vlhkost biomasy, která by neměla být větší než 25 % a zrnitost paliva, které by mělo být mezi 4 a 10 cm, z důvodu nepravidelného proudění, blokování paliva a vzniku prostoru pro proudění pyrolýzního plynu směrem dolů. V těchto případech je peletizace nebo briketování nezbytné.

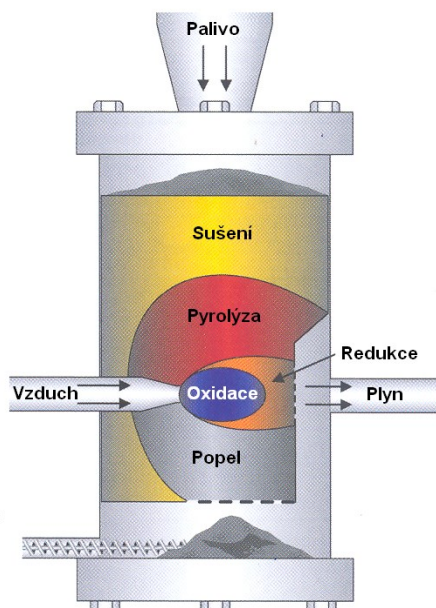
#### **4.1.4 Souproudý zplyňovací reaktor s otevřeným jádrem**

Jedná se o speciální zplyňovací reaktor pro zplyňování jemné biomasy s malou sypnou hmotností (například rýžové slupky, piliny atd.). Tento reaktor je opatřen rotačním roštem, který míchá palivo a zároveň odvádí popel.

#### **4.1.5 Zplyňovací reaktor s křížovým tokem**

Zplyňovací reaktor s křížovým tokem **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** byl původně navržen pro zplyňování dřevěného uhlí. Toto zplyňování se vyznačuje vysokou teplotou (1500 °C a více). To může vést k problémům s teplotní odolností materiálů. Jednotky mají malý

rozsah pracovního výkonu. Jelikož rozklad dehtů je skoro nulový, zvyšují se nároky na kvalitu dřevěného uhlí.

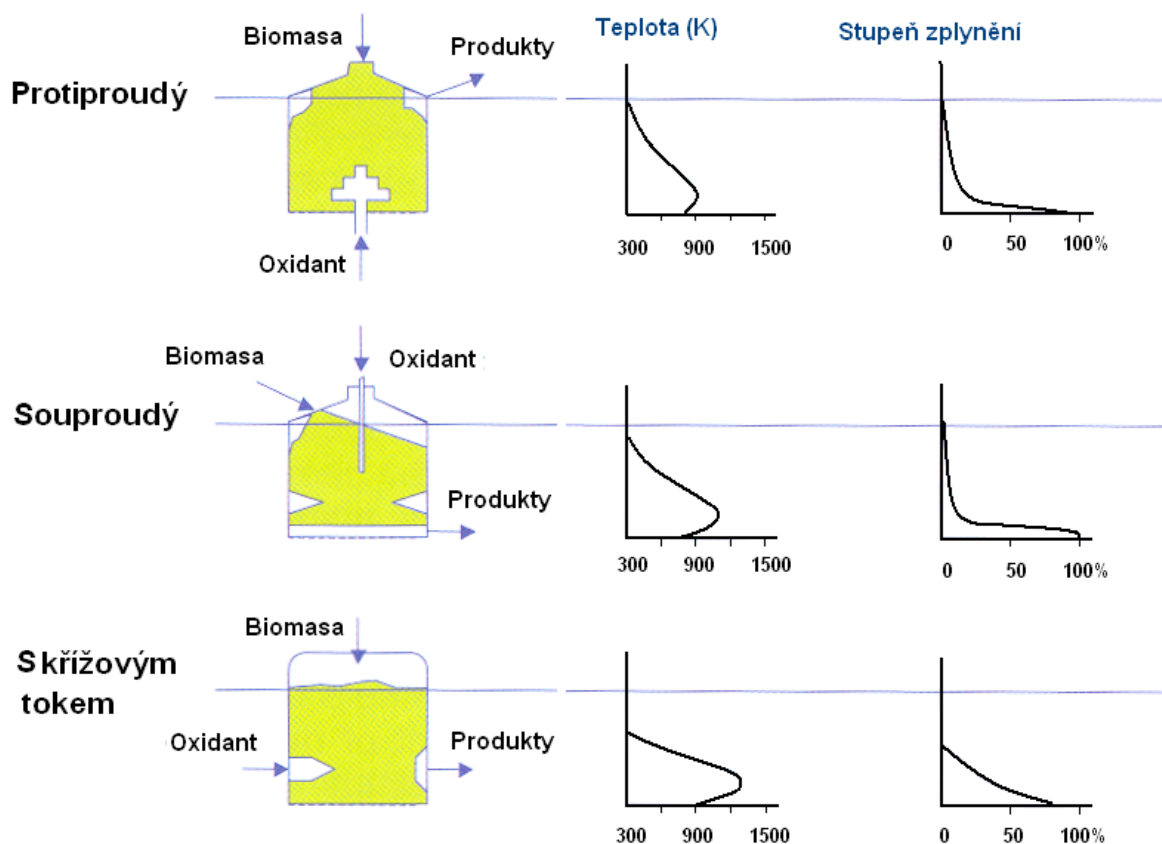


*Obrázek 4.4 Zplyňovací reaktor s křížovým tokem*

#### 4.1.6 Porovnání zplyňovacích reaktorů s pevným ložem

Na Obrázek 4.5 a v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** můžeme porovnat hlavní charakteristiky zplyňovačů s pevným ložem (dřevo jako palivo). Uvedená data pouze informativní, z důvodu mnoha aplikací zplyňovacích zařízení s pevným ložem. Ovšem pro uvedení základních rozdílů mezi jednotlivými typy zplyňovacích zařízení postačují.

## Zplyňovače s pevným ložem



Obrázek 4.5 Charakteristika jednotlivých typů zplyňovacích reaktorů s pevným ložem

		Souproudý	Protiproudý	S křížovým tokem	S otevřeným jádrem
Palivo		dřevo	dřevo	dřevěné uhlí	dřevo
- vlhkost	%	12 (max. 25)	43 (max. 60)	10 - 20	7 - 15 (max. 15)
- obsah popela v sušině	%	0,5 (max. 6)	1,4 (max. 25)	0,5 - 1,0	1 - 2 (max. 20)
- velikost	mm	20-100	5 - 100	5 - 20	1 - 5
Teplota výstupního plynu	°C	700	200 - 400	1250	250 - 500
Dehty	g/Nm <sup>3</sup>	0,015 - 0,5	30 - 150	0,01 - 0,1	2 - 10
Citlivost na kolísání výkonu		velká	malá	velká	malá
Účinnost (teplý plyn)	%	85 - 90	90 - 95	75 - 90	70 - 80
Účinnost (studený plyn)	%	65 - 75	40 - 60	70 - 85	35 - 50
Výhřevnost	MJ/Nm <sup>3</sup>	4,5 - 5,0	5,0 - 6,0	4,0 - 4,5	5,5 - 6,0

Tabulka 4.1 Některé typy zplyňovacích reaktorů s pevným ložem

## 4.2 Zplyňovače s fluidním ložem

Technologie fluidního zplyňování byla vyvinuta, aby se předešlo provozním problémům doprovázející zplyňovací reaktory s pevnou vrstvou, jako jsou:

- vysoce popelnaté druhy biomasy,
- klenbování a tvorba kanálů,
- horká místa,
- velikostní omezení,
- nevhodnosti použití malých částí z důvodu ucpávání a nárůstu tlakového spádu.

Fluidizace je uvedení paliva (jednotlivých částic) do vznosu. Fluidizovaná vrstva částic je podobna kapalině a chová se podobně. Zplyňovací reaktor je vertikální nádoba s porózním dnem částečně naplněná inertním materiálem. Pokud dnem přivedeme plyn a budeme zvyšovat jeho množství, bude narůstat tlaková ztráta vrstvy a po čase dojde k překonání gravitačních sil vrstvy a poté vrstva se dostane do vznosu. Rychlost plynu v tomto stavu se nazývá rychlost fluidizace.

Ve vrstvě shoří okolo 25 % paliva a zbytek se zplyní. V důsledku velkých přenosů tepla a hmoty ve vrstvě dochází k sušení, pyrolýze, oxidaci a redukcí. Teplota vrstvy je tak téměř konstantní a udržuje se tak mezi 700 a 900 °C. Palivo je do vrstvy dávkováno šnekovým dopravníkem přes vzduchotěsný uzávěr. Pyrolýza probíhá rychle a díky poměrně nízkým teplotám nedochází k velké konverzi dehtů.

Výhody fluidních zplyňovačů:

- kompaktní konstrukce díky velkým přestupům tepla a hmoty ve vrstvě,
- malé teplotní rozdíly bez horkých míst,
- schopnost spalovat velice rozdílná paliva bez zásahu do zařízení,
- možnost použití biomasy s nízkou teplotou tavitelnosti popela.

Nevýhody fluidních zplyňovačů:

- vysoký podíl dehtů a unášených částic v plynu,
- vysoká teplota plynu, díky níž plyn obsahuje páry alkalických kovů,
- nedokonalé vyhoření paliva,
- složitější řízení – řízení dodávky paliva i vzduchu,

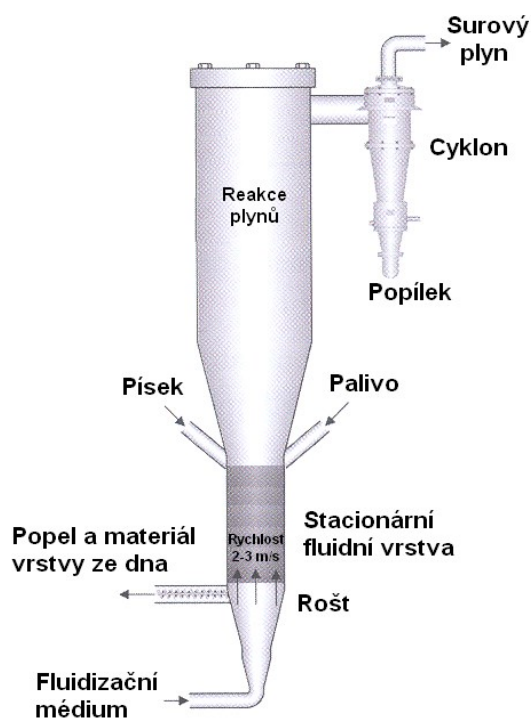
- potřeba pohonu dmychadla.

#### 4.2.1 Stacionární fluidní vrstva (BFB - bubbling fluidised bed)

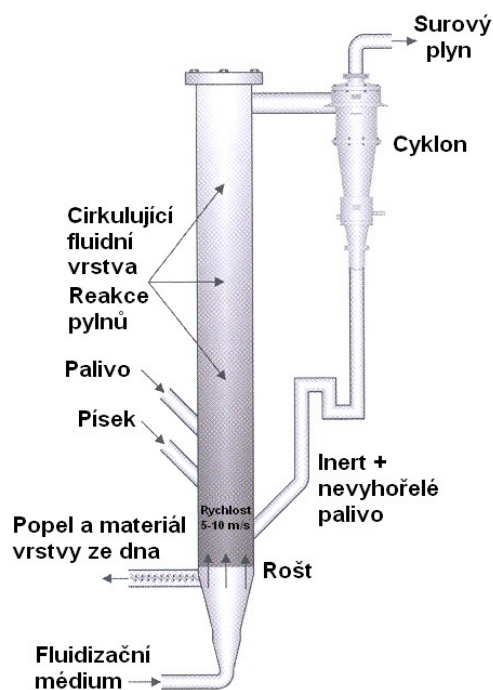
U stacionární fluidní vrstvy je fluidní vrstva je ukončena hladinou. Množství dehtů se pohybuje od 1 do 2 %. Průměr reaktoru je určen rychlostí plynu nad vrstvou. Schéma zplyňovacího zařízení na Obrázek 4.6.

#### 4.2.2 Cirkulující fluidní vrstva (CFB – circulating fluidised bed)

Zplyňovače s cirkulující fluidní vrstvou nemají zřetelnou hladinu vrstvy. Vrstva má tedy v různé výšce odlišnou hustotu. Směrem ke stropu hustota klesá. Unášené částice jsou zachycovány v cyklónu a vráceny zpět přes sifon na dno fluidní vrstvy. Přeměna paliva je dokonalejší a vyhoření uhlíku je větší než u zplyňovacích zařízení se stacionární fluidní vrstvou. Schéma zplyňovacího zařízení na Obrázek 4.7.

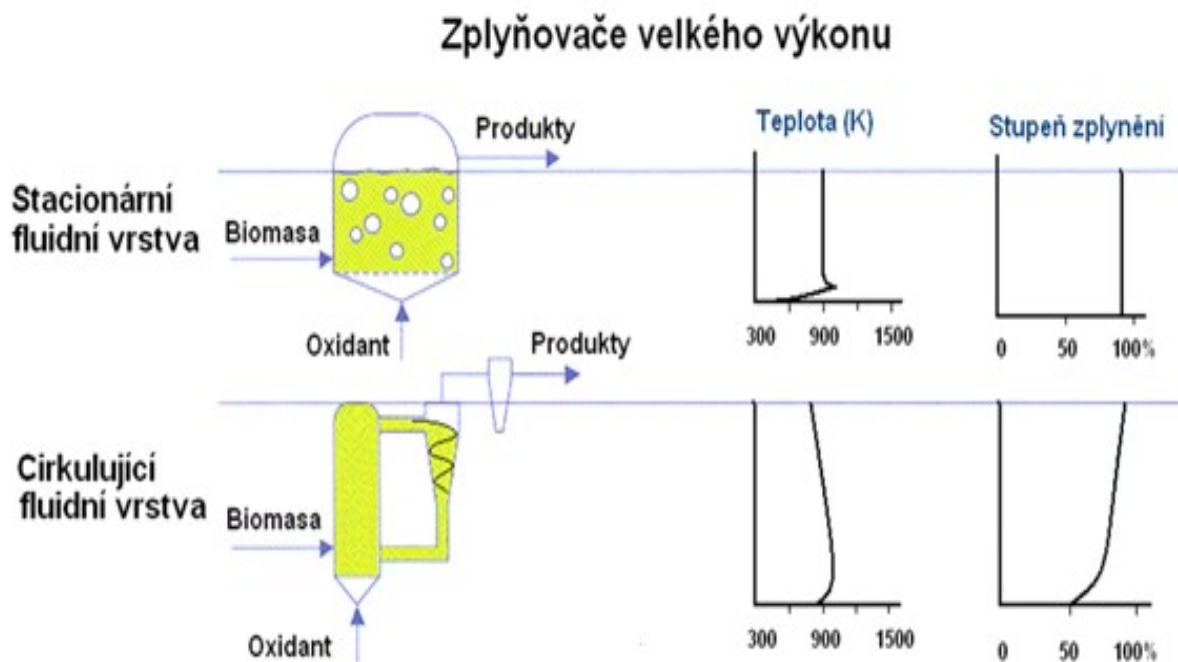


**Obrázek 4.6** Schéma zplyňovacího reaktoru se stacionární fluidní vrstvou



**Obrázek 4.7** Schéma zplyňovacího reaktoru s cirkulující fluidní vrstvou

Charakteristiky zplyňovačů s fluidní vrstvou názorně popisuje Obrázek 4.8.



**Obrázek 4.8** Charakteristiky fluidních a EF zplyňovacích reaktorů

Dosud popisované typy zplyňovačů jsou nejčastěji používanými zplyňovači, ať už se jedná o zplyňování uhlí či biomasy. Každý typ má své výhody i nevýhody, které shrnuje **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

		Souproudý	Protiproudý	BFB	CFB
Teplota	°C	700 - 1200	700 - 900	< 900	< 900
Úroveň dehtování		nízká	vysoká	průměrná	průměrná
Řízení		snadné	velice snadné	průměrné	průměrné
Rozsah výkonů	MW <sub>t</sub>	< 5	< 20	10 - 100	20 - ?
Surovina		velice rozhodující	rozhodující	málo rozhodující	málo rozhodující

**Tabulka 4.2** Pracovní podmínky jednotlivých typů zplyňovacích reaktorů

## **5. Úprava plynu**

Vyprodukovaný plyn, který opouští zplyňovací zařízení, obsahuje nežádoucí látky. Poléťavé částice, alkalické sloučeniny, dehty a oxidy dusíku. Podle konstrukce zplyňovače, typu biomasy, může být těchto nežádoucích látek více či méně. Tyto znečišťující látky nedovolují využití plynu, proto je nezbytné plyn čistit.

Nejčastějšími se jedná o tyto nečistoty: uhlovodíky (dehty), prach, čpavek, síra, chlór, alkálie atd. Je třeba odstranit nebo přeměnit. Pokud je plyn určen pro spalování, není třeba plyn čistit. Pokud je dopravován do spalovací komory ještě za vysokých teplot, při kterých nehrozí kondenzace dehtů a alkalických kovů. Chlazení je nutné při použití pro spalovací motory, kde nesmí plyn překročit limitní teplotu filtru.

## **6. Technický popis**

### **6.1 Doprava paliva**

#### **6.1.1 Štěpkové hospodářství**

Štěpkové hospodářství je soubor dopravných zařízení určených na příjem a dávkování dřevní štěrky na existující dopravné trasy. Provozní soubor se skládá z dvou nezávislých částí - hlavní příjmové místo, rezervní příjmové místo.

Na dopravu dřevní štěrky se za normálních okolností využívá prioritně hlavní příjmové místo, kterého ústředním členem je pohyblivá hydraulická podlaha so čtyřmi posuvnými hráběmi. V případě výpadku některého ze zařízení hlavního příjmového místa se v nouzovém režimu využívá rezervní příjmové místo skládající se ze vstupní mříže na úrovni terénu skládky a dvojzávitového dopravníku pod úrovní skládky, který dopravuje materiál na existující dopravníky umístěné v suterénu. Přísun dřevní štěrky (paliva pro teplárnu) se zabezpečuje převážně nákladní automobilovou dopravou - kamiony a část i železničními vagóny.

Při transportu štěrky nákladní automobilovou dopravou je nákladní vozidlo na vstupu do areálu zvážené na mostové váze, je odebrán vzorek paliva na předepsané testy a následně je určena pozice, kde je štěrka vysypaná nebo vyskladněná. Po vysypání je nákladní automobil zvážen a opouští areál společnosti.

Při transportu a dovezení kulatiny je nákladní automobil také zvážen, odebírá se vzorek a následně je na určené ploše vyložený. Po vyložení je opět zvážen a opouští areál.

Při transportu štěrky a kulatiny železniční dopravou je souprava, respektive jsou jednotlivé vagóny zvážené na stávající statické váze a je odebrán vzorek paliva na předepsané testy. Přes stávající dopravní trasy je štěrka transportovaná na skládku. Po vyprázdnění je souprava nebo vagón opět zvážený. Manipulace s vagóny na vlečce se vykonává pomocí stávajících posuvných zaražení.

Manipulace so štěpkou ve skladě SO 05 se vykonává kolesovými nakladači typ Volvo OLK 120G s objemem lžíce cca 10 - 12 m<sup>3</sup>.

#### **Technické řešení**

Základním palivem je dřevní štěrka kvality podle STN 48 0057 a STN 48 0058, která může být smíšená s peletkami do 20% celkového množství.



- Požadované přepravované místo: 45 resp. 60 t/h
- Sypná hmotnost štěpky: 220 – 265 kg/m<sup>3</sup>
- Vlhkost dřevění štěpky: do 55%
- Rozměr dřevění štěpky: G50 – G100 podle ONORM

### **Hlavní příjmové místo**

Dřevní štěpka je ze skládky dopravovaná kolesovým nakladačem do betonového zásobníku o rozměrech 5,7 x 3,3 x 14 m s objemem cca 260 m<sup>3</sup>, což při daných podkladech představuje zásobu paliva na cca 1,14 hodiny.

V zásobníku je instalované vyhrabávající zařízení – pohyblivá hydraulická podlaha (PHP) 01.1-1, která posouvá palivo ze zásobníku na diskový separátor 01.1-2, kde se vykonává rozměrové separování paliva (nadrozměrné) a jiných nadrozměrných nečistot. Požadovaný rozměr štěpky přepadává na redlerový dopravník 01.1-3, který štěpku dopravuje přes přesyp na další redlerový dopravník 01.1-5, který štěpku určenou do technologie zplyňování přivádí přes přestavitelnou klapku 01.1-6 na stávající soustavu dopravních pásů, přes které se štěpka transportuje do kotelny. Nadrozměrné části, jsou pásovým dopravníkem 01.1-4 vyneseny na volnou plochu do kontejneru.

Táto nadrozměrná štěpka je dále zpracovaná sekáním nebo domletím. Na stávajících dopravních pásech, které dopravují štěpku do operativních zásobníků, jsou instalované magnetické separátory kovu, které vyseparují nežádoucí kovové magnetické předměty z paliva. Vyseparovaný nedřevěný odpad je odvážen na určenou skládku.

Hlavní příjmové místo je vybavené vlastním přístřeškem, který zamezuje vlivu povětrnostních podmínek na zařízení.

### **Rezervní příjmové místo**

Skládá se z dvojzávitového dopravníku, umístěném pod úrovní terénu skládky u 5. sloupu skládkového mostu. V případě výpadku hlavního příjmového místa je kolesovým nakladačem dopravovaná štěpka ze skládky na vstupní mříž umístěnou nad dopravníky na úrovni terénu. Přes mříž se štěpka sype do násypky dopravníku, který ji následně dopravuje podle polohy deskového uzávěru na jeden ze stávajících pásových dopravníků v suterénu (02.1-4a,b).

V případě, že štěpka z kvalitativních příčin není schopná samovolně přepadávat přes otvory v mříži, je nutné ji pasírovat ručně palicemi.

## **Dopravní trasy**

Dopravní trasy, tedy transport dřevění štěrky do zásobníků pro kotel K6.

Pro dopravu paliva pro kotel K6 jsou využité stávající dopravní pásy, které byly rekonstruované.

Dřevní štěrka je dopravovaná z venkovních skládek přes zařízení příjmového místa na soustavu stávajících paralelních pásových dopravníků. Z pásových dopravníků 02.1-6a,b je dřevní štěrka shrnovaná prostřednictvím jednostranných shrnovacích pluhů (4 ks) a přes přesypy usměrňovaná na nové redlerové dopravníky 03.1-1a,b. Tyto nové redlerové dopravníky jsou umístěné v otvorech na místech povodních betonových zásobníků na uhlí a odtud palivo přepravují do dvou nových operativních zásobníků 03.1-2a,b. Dopravní kapacita redlerových dopravníků do zásobníků je 60 t/h.

### **6.1.2 Operativní zásobníky**

Operativní zásobníky a transport paliva v kotelně je soubor strojních zařízení, která jsou určené na skladování dřevění štěrky a její dopravy do operativních zásobníků a následně do nadcházející technologie zplynování.

Provozní soubor se skládá primárně ze dvou operativních zásobníků v ocelovém provedení s objemem 380 m<sup>3</sup> paliva. Zbývající zařízení slouží na dopravu štěrky do zásobníků respektive na dopravu štěrky ze zásobníků do zplyňovacích komor předřazené technologie. Technologický celek je navrhnutý tak, aby byl umožněn tok materiálu z obou zásobníků do kteréhokoliv zplyňovacího zařízení a to prostřednictvím přesuvných pásových dopravníků.

Operativní zásobníky jsou ve spodní části dna vybavené pohyblivým dvojsměrným hydraulickým vyhrabáváním. Střídavě vratné pohyblivé rámy štěrky vyhrnou přes otvor přesypu na reverzní pásové dopravníky 03.1-3a,b,c,d (4 ks) a následně na soustavu (4 ks) redlerových dopravníků 03.1-4a,b a 03.1-5a,b.

Palivo je podle technologické potřeby připojené samostatně ke každému zplyňovači. Navrhnutý systém umožňuje variabilitu transportu paliva mezi operativními zásobníky a zplyňovači podle potřeby a volby operátora v technologické dozorně.

Součástí zásobníků je i měření výšky hladiny. Zásobníky jsou vevnitř vybaveny stříškami, aby se zamezilo klenbování materiálu a snížil se tlak paliva. Pro zabezpečení

požární bezpečnosti jsou na zásobnících instalované stabilní hasicí zařízení (suchovod) s hasicími hlavicemi.

Provozní soubor operativních zásobníků se skládá z následovných zařízení:

- (poziční číslo 03.1-1a,b) Redlerový dopravník (počet ks 2)
- (03.1-2a,b) Operativní zásobník (2)
- (03.1-3a-d) Pásový dopravník – reverzní (4)
- (03.1-4a,b) Redlerový dopravník (2)
- (03.1-5a,b) Redlerový dopravník (2)

## **6.2 Předřazená technologie**

Předřazená technologie je strojní zařízení na zplyňování dřevění štěpky, které se skládá ze 4 ks zplyňovacích reaktorů a z 2 ks spirálových komor ve kterých je spalovaný syntézní plyn. Výstup spalin do spirálových komor je zaústěný do tlakového systému kotle K6. Spaliny z předřazené technologie jsou přivedené do kotle K6 z levé strany, tedy do levé boční stěny.

Před zplyňovacími reaktory jsou instalované operativní zásobníky paliva. Doprava paliva do operativních zásobníků je zabezpečena soustavou dopravníků. Návrh, dimenzování a konstrukce předřazené technologie umožňuje provozování kotle v následujících variantách:

- a) 100 % provoz; v provozu 4 ks zplyňovací reaktory a 2 ks spirálových komor
- b) 50 % provoz; v provozu 2 ks zplyňovací reaktory a 1 ks spirálová komora - horní
- c) 50 % provoz; v provozu 2 ks zplyňovací reaktory a 1 ks spirálová komora – dolní

Před každým náběhem jsou zapalované náběhové plynové hořáky s výkonovým rozsahem 500/1350 – 3800 kW, nastavený na 2640 kW a nominální spotřebou paliva 270 m<sup>3</sup>/h, které vytvoří plamen ve zplyňovacích reaktorech.

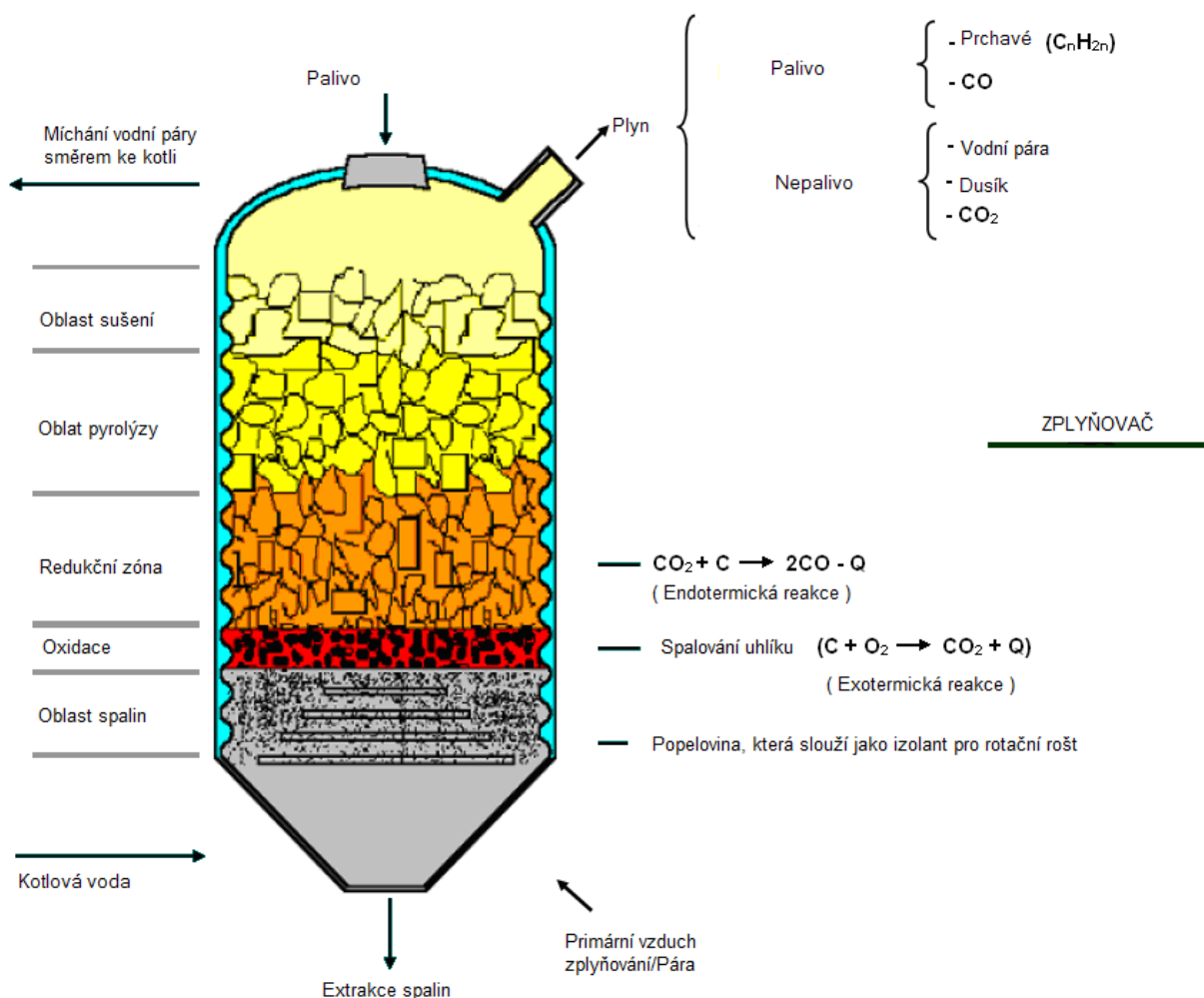
Pro náběh spirálových komor (torsional chamber) slouží plynové hořáky s výkonovým rozsahem 1300/3800 - 9400 kW, nastavený 8304 kW s nominální spotřebou paliva 850 m<sup>3</sup>/h. Hořáky slouží pro náběh torzních komor.

### 6.2.1 Popis technologie

Systém spalování předřazené technologie je navržený společností Agrest s.r.l., Argentina. Dvě torzní komory jsou umístěné jen na jedné straně kotle K6. Torzní komory jsou instalované jedna nad druhou a zaústěné na levou boční stěnu kotle K6.

Každý zplyňovač se skládá z jednoho rotačního roštu s průměrem 2,8 m a reakční komory vysoké 4,5 m. Štěpka je přiváděná na vrch zplyňovačů a padá směrem dolů až k rotačnímu roštu, zatím co zplyňovací vzduch směřuje nahoru (protiproudý zplyňovací reaktor).

Zatím co se štěpka dostává na spodek zplyňovače v první řadě projde procesem sušení ochuzeným plynem (uvolnění vodní páry v syntézním plynu), potom se dostane do oblasti pyrolýzy, kde dosáhne teploty přibližně 300°C a tak se uvolní prchavé části dřeva (dehet, aldehydy H-CO-R, ketony R1-CO-R2, uhlovodíky C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, a oxid uhličitý CO<sub>2</sub>). Tyto části vytvářejí palivo spalované v torzních komorách.



Obrázek 6.1 Schéma děje procesů ve zplyňovací komoře

Nakonec je stálý uhlík, který se přes vrstvy pod oblastí pyrolýzy zredukuje pomocí oxidu uhličitého, pocházejícího ze spodních částí na oxid uhelnatý. Oxid uhelnatý, který v tomto stádiu vzniká, se používá též jako palivo v torzních komorách. Zbytkový stálý uhlík je následně v oxidační části spalovaný zplyňovacím vzduchem a tak vytváří oxid uhličitý, který se využívá v redukční části. Takovým spalováním se vyprodukuje teplo potřebné na proces zplyňování, který byl popsán výše. Ke konci zplyňovací vzduch ochlazuje zbytkovou popelovinu a ta je vytlačována do středu rotačního roštu při teplotě 50-60 °C. S cílem vyhnout se tavení popeloviny je vstřikovaná vodná para so zplyňovacím vzduchem a taky proto, aby část této páry mohla zreagovat ve spalovací části (oxidační oblast) a rozložit se na kyslík a vodík. Jde o endotermickou reakci, která umožňuje snížit teplotu při spalování s cílem zůstat pod bodem tavitelnosti popeloviny a zvýšit množství vodíku v syntézním plynu.

Složení popeloviny z biomasy se hlavně skládá ze zásad (K, Mg, Na, Ca).

Úroveň bodu tavitelnosti draslíku za přítomnosti křemene se snižuje (pod 750 °C) a extrakce popeloviny je teda narušená. Z tohoto důvodu a v mnohých případech je už vstřikování páry nedostačující, aby se dalo vyhnout těžkostem.

Aby se dalo zbavit tohoto problému, je potřebné použít vstřikování vápence (uhličitán vápenatý -  $\text{CaCO}_3$ ) anebo hašené vápno (hydroxid vápenatý -  $\text{Ca(OH)}_2$ ).

Ve spalovací části, jsou ionty křemičitanu zachytávány ionty vápníku a tak vzniká křemičitan vápenatý s vyšším bodem tavitelnosti, namísto problémů s křemičitanem draselným.

Množství vstříknutého vápence závisí na složení a procentuálním zastoupení popeloviny v biomase, ale ve všeobecně je potřebné zneutralizovat polovinu její množství v biomase.

Ve skutečnosti zůstává přibližně polovina z množství popeloviny ve zplyňovači, zatím co zbytek se dostane přes spalovací plyny ke kotli.

V torzních komorách je spalovaný syntézní plyn, který pochází ze zplyňovače, to znamená mimo kotel. Komory jsou složeny z válce s horizontální osou s průměrem 2,6 m a s délkou 6m a jeho okraje tvoří membránové vodotrubné steny.

Spalovací vzduch je v torzní komoře vstřikovaný téměř tangenciálně (tečně) prostřednictvím více dýz, které jsou rozmístěny po délce válce a tak se tvoří aerodynamický tok. Jeho základními vlastnostmi je velká recirkulace, čisté a rychle

mísení mezi přídavným palivem a palivem, dobrá stabilita plamene, nízký přebytek vzduchu a rychlá reakce na změnu zatažení.

Kromě vzpomínaných vlastností dokáže torzní komora udržet po delší dobu přítomnost částic před plamenem (přibližně 60 krát víc jako přítomnost plynů). Takto se podaří získat celkové spalování s malým množstvím nedopalků i přes malý příbytek vzduchu a při rychle změně zatížení.

Zadní části obou torzních komor (kruhovitá plocha) jsou připojené k ohništi kotle, stejně tak i stěna na rohu kotle K6 je změněná tak, aby se umožnilo odvádění spalin z torzních komor.

Membránové vodotrubné steny, které tvoří steny zplynovačů a torzních komor, jsou připojené na cirkulační okruh kotle K6.

Hlavní zařízení předřazené technologii:

- zplyňovací reaktor (gasifier), 4 ks;
- spirálová komora (torsional chamber), 2ks;

### **6.2.2 Zplyňovací reaktor (Gasifier)**

Zplyňovací reaktor je tlaková nádoba vyhotovená z trubek TR 63,5 x 4,5 z uhlíkové ocele (P265 GH EN 10 220, EN 10216-2). Tlaková část je vyhotovená z membránových plynotěsných stěn, které jsou zaústěné do komor. Ve zplyňovací komoře se spaluje dřevní štěpka, která je dávkovaná shora přes rotační podáváč. Dále biomasa padá směrem dolů až k rotačnímu roštu, zatím co zplyňovací vzduch směřuje nahoru (protiproudý zplyňovací reaktor). V procesu hoření se tak ve zplyňovací komoře uvolňuje plyn, který je odvedený spojovacím potrubím do torzní komory. Průměr rotačního roštu je 2,8 m a výška zplyňovací komory je 4,5 m.

Na dno spalovací komory pod rošt je přivedený primární vzduch, kterým se reguluje proces spalování a výkon komory. Membránové vodotrubné „stěny“, které tvoří stěny zplynovačů, jsou připojené na cirkulační okruh kotle K6 převáděcím a zavodňovacím potrubím do kotlového tělesa kotle.

Zapálení, start se realizuje pomocí plynového hořáku APH-M 25 PZ. Hořák je monoblokový se zabudovaným ventilátorem. Hořák je plnoautomatický, vybavený vlastní automatikou podle platných předpisů a norem EU. Hořák je určený na zapálení biomasy ve zplyňovací komoře. Po zapálení je odstavený a mechanicky oddělený od prostoru zplyňovací komory.

## **Rotační rošt**

Každý zplyňovací reaktor se skládá z rotačního roštu o průměru 2,8 m. Zatížení roštu se uvažuje převážně axiálním cca. 22000 kg - 24000 kg. Médium nad roštem je popel, respektive biomasa ze štěpky s měrnou objemovou hmotností cca. 770 kg/m<sup>3</sup>. Rošt je vyhotovený ze čtyř kruhových disků. Disky jsou vyrobeny z ocelového plechu. Z důvodu vynášení popela ze dna zplyňovacího reaktoru jsou ocelové disky vyoseně umístěné. Pohon roštu je přes ozubený věnec a převodovku s el. pohonem. Otoč je umístěná na nosném rámu ve výsypce roštu.

Otáčky motoru a roštu jsou řízené frekvenčním měničem. Součástí roštu je zástřík párou, který slouží na chlazení popela, a lepší vynášení popela. Zároveň vstříkovaná pára je potřebná pro proces zplyňování. Provozní teplota pro zařízení je do 80°C. Požadované otáčky roštu jsou asi 2,5 ot/min, ustáleným rotačním pohybem.

Hlavní části roštu:

- ocelový disk, 4ks s rozměry:  $\varnothing D_i = 324 \text{ mm}$ ,  $\varnothing D_a = 575 \text{ mm}$ ,  $\varnothing D_p = 565 \text{ mm}$
- rotor, 1 ks
- ocelový rám pro disky
- potrubí páry pro zástřík
- vstup primárního vzduchu
- ocelová konstrukce
- ložisková otoč
- čelní, kuželová elektro převodovka, typ SK 9086.1 – 132 MA/4 TF
- ložisková otoč
- pružná spojka
- pastorek  $z=38$  zubů, modul  $m=10$ , otvor pro hřídel  $\varnothing 110\text{mm}$

## **Rotační podavač**

Nad každým zplyňovacím reaktorem je umístěný rotační podavač biomasy. Podavač slouží pro dopravu paliva do zplyňovacích reaktorů. Otáčky jsou řízené frekvenčním měničem.

### **Ventilátor primárního vzduchu**

4 ks Radiální ventilátor typ RVHL 355 R, řemenový převod, blokové ložisko.

### **Plynový monoblokový hořák**

4 ks APH-M 25 PZ TYP 4064 na palivo zemní plyn.

Příslušenství k hořáku:

- 4 ks Ventilová rada Typ 4064 obsahující plynový filtr, dvojité ventil Dungs DMV-D 520/11 a 2 ks manostat plynu (MIN/MAX).
- 4 ks Konzola včetně mezikusu na vysunutí hořáku mimo spalovací komoru.
- 4 ks Odporový vysílač jako zpětná vazba ze servopohonu do regulátoru o výkonové poloze hořáku.

### **Bezpečnostní gilotinová klapka**

Gilotinová nožová klapka slouží pro bezpečné oddělení zplyňovacího reaktoru a spirálové komory. Z důvodu zabezpečení bezpečnosti a 100% těsnosti je projektovaná dvojice gilotinových bezpečnostních klapek. Klapka splňuje funkci uzavíratelné klapky tehdy, když dojde k neplánovanému výpadku technologie. Při jakékoliv situaci musí být před započítím celého procesu zplyňovače oddělené od torzních komor přes nožové klapky, které budou uzavřené. Ovládání klapky je pneumatickým pohonem.

### **Dopravníky pro odvod popela**

Odvod popela je navržen řetězovými dopravníky. Dopravník musí být částečně naplněný vodou. Popel je odvážen redlerem, protože má vyšší hustotu jak voda, tím pádem se potopí na spodek redleru a díky tomu je popel odvážen redlerem.

Hlavní zařízení:

- 2ks Vodní řetězový dopravník MVP NW 550 x 10000 mm

Složí na vynášení popela, doprava materiálu ve spodní úvratí řetězu. Vodní řetězový dopravník je zařízení v ocelovém provedení s dvěma řetězy se zavodněnou spodní rovnou částí v místě nasypávání popela, poháněný je elektromotorem s převodovkou. Součástí dopravníku jsou dva čerpiče vodní hladiny.

Pohon dopravníku je umístěný na konzole v horní části dopravníku. Pohonná hřídel je uložena na ložiscích, domku, které jsou upevněné na venku stojících konzolách.



Obratové kola jsou uloženy v ložiscích, umístěných pod vodní hladinou, mazané z bočních stran dopravníku.

Těleso koryta na pohonné stanici je vybavené výstupním hrdlem ukončeným přírubou. Volný konec pohonného hřídele je vybaven prvky pro snímání otáček.

- 1 ks Řetězový dopravník SVP VW 290 x 11800 mm

Vynášení popela, doprava materiálu ve spodní úvratí řetězu.

Řetězový dopravník je zařízen v ocelovém provedení s jedním řetězem, poháněný je elektromotorem s převodovkou.

Pohon dopravníku je umístěný na konzole ve spodní části dopravníku. Pohonná hřídel je uložena v ložiscích, domcích, které jsou upevněny na venku stojících konzolách. Obratové kola jsou uloženy v ložiscích, mazané z bočních stran dopravníku.

Těleso koryta na pohonné stanici je vybavené výstupním hrdlem ukončeným přírubou. Volný konec pomocného hřídele je vybaven prvky pro snímání otáček.

### **Komín pro odvětrání**

4ks ocelový komín DN 500 vrtané ocelové konstrukce

### **Spalinová havarijní klapka**

4 ks klapky, pneumatický pohon FESTO

### **Ofukovače**

4 ks Ofukovače PS-SL, 900 mm, Clyde Begermann

### **6.2.3 Torzní komora (Torsional Chamber)**

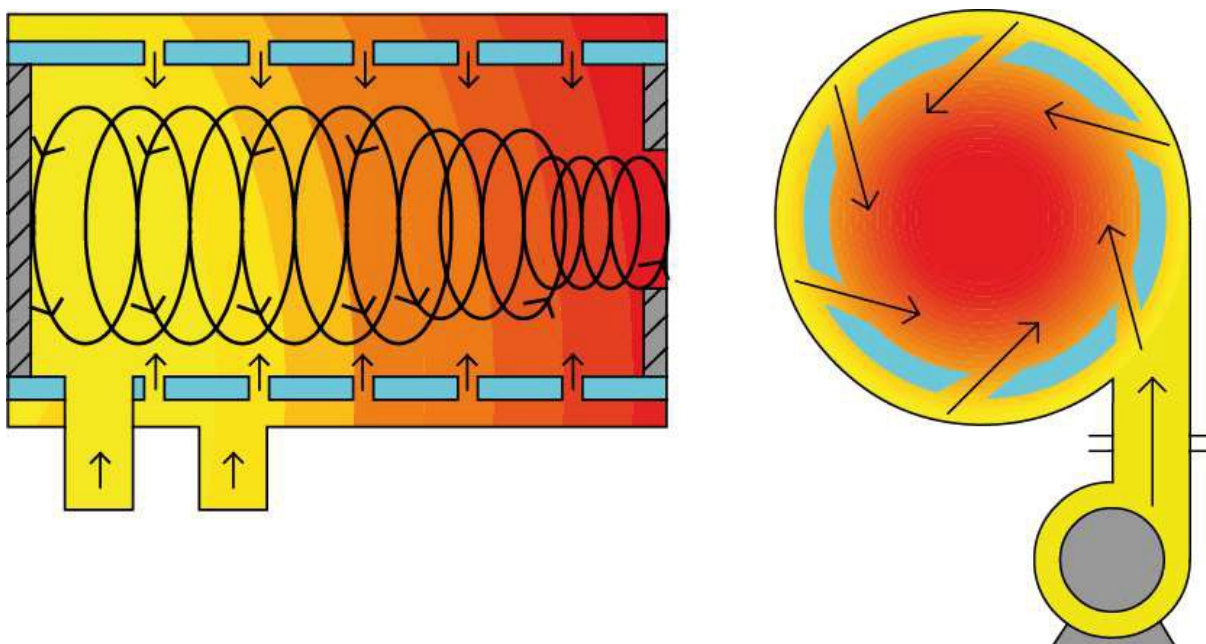
Torzní komora je tlaková nádoba vyrobená z trubek TR 51 x 4 z uhlíkové ocele 265 GH EN 10 220, EN 10216 -2). Tlaková část je vyhotovená z kruhových membránových stěn, které jsou zaústěny do vrchní a spodní komory. Komory jsou složeny z válce s horizontální osou a průměrem 2 600 mm. V torzní komoře je spalovaný syntézní plyn vyrobený ve zplyňovací komoře. Spalovací vzduch je do torzní komory vstřikován tangenciálně (tečně) prostřednictvím více dýz, které jsou rozmístěny po délce válce a tak se tvoří aerodynamický tok. Jeho základními vlastnostmi je velká

recirkulace, čisté a rychlé promíšení mezi přídavným palivem a palivem, dobrá stabilita plamene, nízký přebytek vzduchu a rychlá reakce na změnu zatažení. Zadní části obou komor jsou připojené na levou plynotěsnou membránovou stěnu kotle.

Pro start tak i pro stabilizaci plamene při spalování biomasy s vlhkostí nad 50% je instalovaný plynový monoblokový hořák s výkonem od 1300/3800 ÷ 9400 kW. Hořák je nastavený na výkon 8 304 kW při předpokládaném podtlaku 1 mbar. Hořák je vybavený podle platných předpisů a norem EU.

### Spirálová komora

Počet ks: 2



Obrázek 6.2 Spirálová komora

### Plynový monoblokový hořák

2 ks APH-M 90 PZ

Je v monoblokovém provedení s mechanickou vazbou palivo/vzduch, umožňuje spojitou anebo dvojstupňovou regulaci tepelného výkonu.

Příslušenství k hořáku:

- 4 ks Ventilová řada Typ 4078 obsahující plynový filtr, dvojitý ventil Dungs D 5080/11, DN 80 a 2 ks manostat plynu (MIN/MAX)
- 4 ks Odporový vysilač jako zpětná vazba ze servopohonu do regulátoru o výkonové poloze hořáku.

## **Ofukovače**

2 ks Ofukovač PS-SL, 5 700 mm, Clyde Begermann

## **Kompenzátory**

Tkaninový kompenzátor je umístěný mezi spirálovou komorou N1 a kotlem K6 a spirálovou komorou N2 a kotlem K6 a slouží na dilataci spirálových komor vůči kotli.

Konstrukce kompenzátoru je navržena s přihlédnutím na maximální odolnost vůči abrazi při současném zatažení vibracemi.

Kompenzátor je absolutně bez azbestový a plynotěsný.

### **Tkaninový kompenzátor**

typ C 2i.1 = otevřený pás s připraveným spojem na + 12,630 / + 12,658: m

### **Tkaninový kompenzátor**

typ C 2i.1 = otevřený pás s připraveným spojem na + 8,630 / + 8,671 m

## **Senzory, akční členy**

Na zabezpečení správného chodu zařízení obsahuje senzory na snímání:

- a) Množství primárního vzduchu;
- b) Teplota vyrobeného plynu;
- c) Teplota sekundárního vzduchu;
- d) Tlak plynu v torzní komoře;
- e) Detekci plamene v torzní komoře;
- f) Pozici bezpečnostních klapek;
- g) Pozici roštu (otáčení);
- h) Hladina biomasy v zplynovacím reaktoru;
- i) Chod dopravníků zásobovacích zplyňovací komory;

## **6.3 Kotel**

Změnou palivové základny kotle K6 a s instalací předřazené technologie byly realizované úpravy na tlakových částech kotle tak i na netlakových částech včetně demontáže zaražení a částí kotle, které nejsou potřebné při spalování 100% biomasy zplyňováním.

### **6.3.1 Úpravy kotle**

- Úprava levé boční stěny kotle včetně pro zaústění dvou torzních komor;
- Úprava šotového přehřívače páry II. stupně, přiřazení nové plochy nad spalovací komoru v I. tahu;
- Úprava MeS kotle po demontáž práškových hořáků a sušek;
- Úprava MeS kotle pro zaústění trysek pro DENOX;
- Úprava tlakových částí kotle vyvolaných úpravou výhřevných ploch;
- Úprava převáděcího potrubí mezi jednotlivými výhřevnými plochami;
- Úprava kotlového tělesa;
- Úprava nosné konstrukce kotle a plošiny;

### **6.3.2 Materiálové provedení**

Nové tlakové části kotle, jsou vyhotovené z materiálů podle schválené konstrukční dokumentace notifikovanou osobou vyhovující podle STN EN 12952,97/23 EC, nařízení vlády 576/2002 , modul G (postup posuzování shody podle § 12 ods. 3 písm g).

Ocelové konstrukce jsou vyrobené z materiálu S235JR, EN 10029 A.

Netlakové části kotle jsou vyrobené z materiálu S235JR, EN 10029 A.

Armatury jsou navrženy z ocelolitiny a litiny na příslušný tlak a teplotu.

### **6.3.3 Nátěry**

Potrubí, armatury, doplňkové konstrukce, uložení potrubí, rozdělovače jsou natřeny základním a dvojnásobným krycím nátěrem. Nátěry potrubí a armatur jsou provedené silikónovými barvami.

#### **6.3.4 Tepelné izolace**

Kanál II. tahu kotle, přepojovací potrubí, potrubí zavodňovací a převáděcí jsou zaizolované.

Na tepelnou izolaci je použita izolace NOBASIL. Povrchová úprava zaizolovaného potrubí a zařízení je provedená Zinkovým - plechem. Na izolaci armatur jsou použité snímatelné izolace s patentovanými uzávěry.

## **6.4    Elektroodlučovač**

Odlučovač je funkční zařízení, ve kterém dochází k odlučování tuhých částic příměsí korónovým výbojem a tím k jejich nabíjení. K odlučování takto nabitých částic ze vzdušiny dochází následně za silového působení nehomogenního elektrického pólu.

Vrstva částic prachu se postupně tak zachytává na usazovacích elektrodách a pomocí oklepávacího mechanismu je uvolňovaná a padá do výsypek odlučovačů. Podobně je tomu tak i u vysokonapěťových elektrod.

Výsypky jsou potom vyprazdňované transportním zařízením prachu s tlakovým uzávěrem.

## 6.5 Výměník tepla

Za účelem využití tepla ze spalin, které nejsou odevzdané v kotli, je za elektrodůlčovač nainstalovaný ohřívač vody.

Výměník je navržen na tyto parametry:

- jednookruhový systém ohřevu;
- průtočné množství vody 60 t.h<sup>-1</sup>;
- vstupní teplota vody 50 ÷ 60°C;
- minimální vstupní teplota spalin do komína 110°C;
- bypass výměníku, na straně vody, zajišťuje dodávku vody max. 80 t.h<sup>-1</sup> do napájecích nádrží;
- výměník je přepojený na vstupu s novým rozdělovačem ve strojovně;
- na straně výstupu s rozdělovačem v prostoru napájecích nádrží;

Za účelem čištění výhřevných ploch spalinového výměníku jsou instalované parní ofukovače.

## **7. Měření parametrů zplyňovacího zařízení**

Pracovníky Výzkumného energetického centra bylo provedeno měření parametrů zplyňovacího zařízení, umístěného v areálu firmy Dalkia Industry ve Žiaru nad Hronom.

Zpráva shrnuje výsledky měření parametrů zplyňovacího zařízení. Při testování zařízení procházelo různými provozními stavy za účelem ověření změn důležitých parametrů.

Pro potřeby diplomové práce budou uvedeny výsledky měření jen jeden jednoho vyšetřovaného provozního stavu. Tento provozní stav odpovídá běžnému provoznímu režimu.

Měření probíhalo on-line v časovém intervalu jedné hodiny. Měřilo se složení vyráběného energoplynu, dále byl stanoven obsah znečišťujících látek v plynu (dehet, prach).



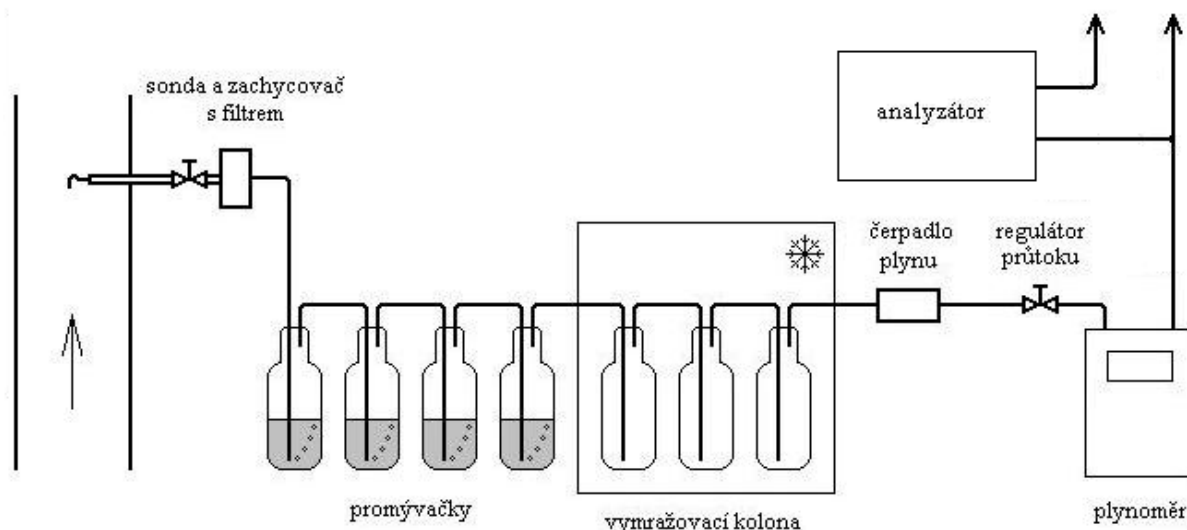
## 7.1 Metodika měření

### 7.1.1 Stanovení složení plynu

Koncentrace plynných složek v plynu byla měřena kontinuálním multikomponentním analyzátozem GAS 3100 Syngas. Analyzátor je vybaven třemi druhy detektorů pro stanovení jednotlivých plynných složek.

- Prvním z nich je nedisperzivní dvoupaprskový infračervený detektor NDIR, pracujícím na principu absorpce infračerveného záření vybranými plynnými složkami. Míra absorpce je přímo úměrná množství daného plynu ve vzorku. Je vhodný pro stanovení obsahu oxidu uhelnatého CO, oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>, metanu CH<sub>4</sub> a vyšších uhlovodíků C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>.
- Druhým je tepelně vodivostní detektor TCD, který se v analyzátoru využívá pro stanovení obsahu vodíku H<sub>2</sub>. Ten pracuje na základě porovnání tepelné vodivosti vzorku a referenčního plynu (vzduchu). Vyhřívaný termistor nebo platinové vlákno je umístěno v proudu vzorku. Má-li vzorek vyšší tepelnou vodivost než referenční plyn, teplota měřicího elementu se snižuje, zatímco v případě nižší tepelné vodivosti roste. Tyto změny způsobují změny elektrického odporu, které se měří pomocí můstkového zapojení.
- Třetí druh detektoru je elektrochemický senzor ECD pro stanovení kyslíku O<sub>2</sub>. Detektor je složen z katody, anody a elektrolytu. Přes propustnou membránu, udržující elektrolyt v měřicí cele, difunduje do elektrolytu kyslík. Ten reaguje s elektrolytem, za vzniku elektrického proudu, který je přímo úměrný koncentraci kyslíku v plynné směsi.

Analyzátor je schopen měřit složení vzorků suchého plynu, zbaveného nežádoucích látek (hlavně dehtů a prachu). Proto je vzorek plynu odebírán sondou s kulovým ventilem, za kterou je zařazen vyhřívaný zachycovač s filtrem ze skleněných vláken, na němž jsou zachyceny tuhé částice a část dehtových látek. Dále plyn prochází čtyřmi promývacími nádobkami naplněnými isopropanolem, ve kterých je zachycen zbytek dehtových látek prošlých filtrem. Za nimi následují tři promývací nádoby, umístěné ve vymrazovacím boxu, které slouží pro vysrážení veškerých zbylých dehtovitých látek a vlhkosti. Odběrová trať dále pokračuje silikonovou hadicí do čerpadla plynu a membránového plynoměru, mezi nimiž je zařazen regulátor průtoku. Za plynoměrem je pomocí T-kusu připojen analyzátor z důvodu ochrany proti přetlaku vstupujícího plynu. Čerpadlo analyzátoru zajišťuje stálý průtok vzorku 1 l/min.



**Obrázek 7.1** Schéma řazení technologií pro měření složení suchého plynu

### 7.1.2 Stanovení obsahu dehtu

Vzorek plynu byl odebírán sondou s kulovým ventilem, za kterou byl zařazen vyhřívaný zachycovač s filtrem ze skleněných vláken, na němž byly zachyceny tuhé částice a část dehtových látek. Dále plyn procházel čtyřmi promývacími nádobkami naplněnými isopropanolem, ve kterých docházelo k zachycení dehtových látek prošlých filtrem. Za nimi následovaly tři promývací nádoby, umístěné ve vymrazovacím boxu, které sloužily pro vysrážení veškerých zbylých dehtovitých látek a vlhkosti. Veškeré nevyhřívané části odběrové aparatury až k poslední promývací nádobce byly zhotoveny ze skla nebo teflonu, aby byla vyloučena sorpce dehtových látek na stěnách aparatury. Odběrová trať dále pokračovala silikonovou hadicí do čerpadla plynu a membránového plynoměru, mezi nimiž byl zařazen regulátor průtoku.

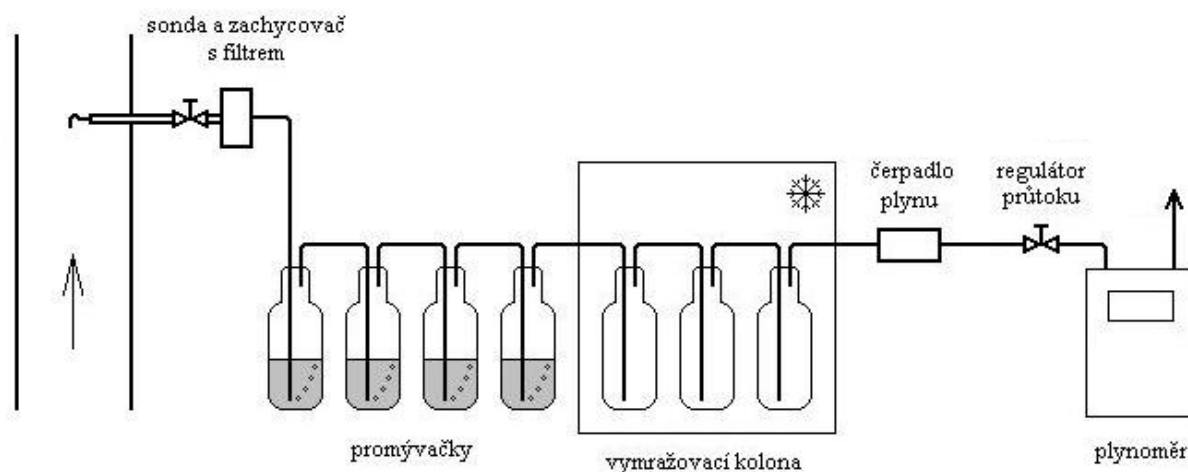
Po ukončení odběru byl filtr se zachycenými prachovými částicemi s dehtem přenesen do vzorkovnice a tvořil první část složeného vzorku transportovanou do laboratoře. Skleněná a teflonová část aparatury byla několikrát opláchnuta čistým isopropanolem a všechny kapalné podíly byly přeneseny do laboratoře ve skleněné uzavřené nádobě jako druhá část složeného vzorku.

Exponované filtry byly před dalším laboratorním zpracováním vysušeny a zváženy (stanovení tuhých částic s dehtem).

Dehtové látky adsorbované na tuhých částicích (první část vzorku) byly z filtru extrahovány isopropanolem v Soxhletově extraktoru. Následně byl vzorek (isopropanol s rozpuštěnými dehtovými látkami) přefiltrován, zkoncentrován v rotační vakuové odparce (RVO) a převeden pomocí acetonu do váženky, ve které byl vzorek vysušen (při teplotě 50°C) a zvážen pomocí analytických vah.

Druhá část složeného vzorku (dehet v kapalném podílu) byla přefiltrována, tj. zbavena případných solí a nerozpustných nečistot, zkoncentrována v rotační vakuové odparce a převedena pomocí acetonu do váženky, ve které byl vzorek vysušen (při teplotě 50°C) a zvážen pomocí analytických vah.

Celková koncentrace gravimetrického dehtu byla vypočtena jako podíl celkového množství dehtu zachyceného na tuhých částicích a dehtu prošlého filtrem k objemu suchého plynu odebraného při měření přepočteného na normální podmínky (0°C, 101325 Pa).



*Obrázek 7.2 Schéma odběrového zařízení pro stanovení dehtu*

### 7.1.3 Měření koncentrace tuhých znečišťujících látek v plynu

Princip měřicí metody je založen na odsátí vzorku plynu z potrubí.

Ke stanovení obsahu tuhých znečišťujících látek (prachu) docházelo zároveň se stanovením dehtů. Bylo využito stejných zařízení jako pro stanovení obsahu dehtu (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Vzorek plynu byl odebírán sondou s kulovým ventilem, za kterou byl zařazen vyhřívaný zachycovač s filtrem ze skleněných vláken, na němž byly zachyceny tuhé částice a část dehtových látek. Teplota plynu v místě odběru se měřila termočlánkem před a po měření. Ve vymrazovací koloně dochází k zachycení vodní páry ve formě kondenzátu. Tím se stanoví obsah vodní páry v plynu. Odběrová trať dále pokračovala silikonovou hadicí do čerpadla plynu a membránového plynoměru, mezi nimiž byl zařazen regulátor průtoku. Z měřicí trati je plyn vyveden do ovzduší.

Po ukončení odběru byl filtr se zachycenými prachovými částicemi s dehtem přenesen do vzorkovnice a tvořil vzorek pro stanovení obsahu prachu a také první část obsahu dehtovitých látek. Exponované filtry byly před dalším laboratorním zpracováním vysušeny a zváženy (stanovení tuhých částic s dehtem).

Dehtové látky adsorbované na tuhých částicích (první část vzorku) byly z filtru extrahovány isopropanolem v Soxhletově extraktoru. Následně byl filtr se zachycenými částicemi vysušen při teplotě 105°C do konstantní hmotnosti a zvážen pomocí analytických vah.

Koncentrace tuhých látek se stanoví jako podíl množství zachyceného prachu k objemu odsátého vlhkého plynu přepočteného na normální podmínky (0°C; 101,325 kPa).

## 7.2 Měření

### 7.2.1 Stanovení složení syntézního plynu

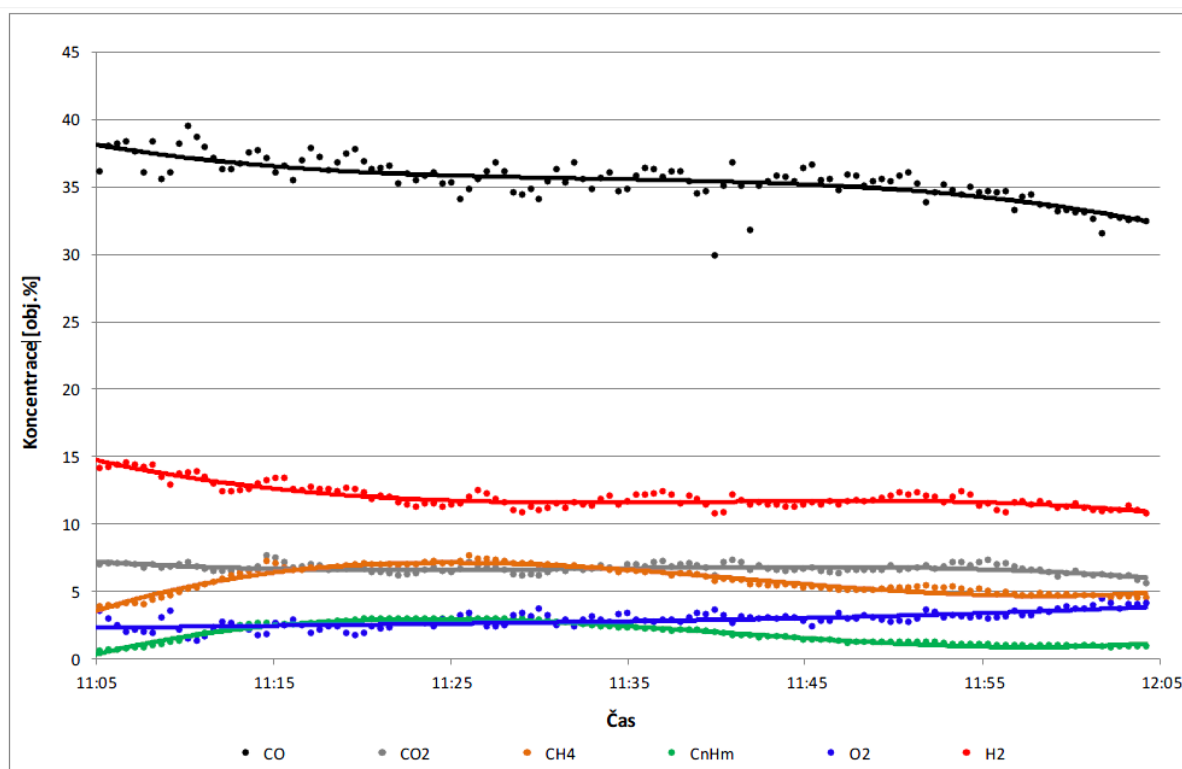
Odběrové místo bylo na obdélníkovém potrubí o rozměrech 900 x 700 mm mezi reaktorem a torzní komorou.

Bylo zjištěno, že díky množství nežádoucích látek v plynu (hlavně dehtů), je možno provádět měření bez přerušení přibližně po dobu 1 hodiny, po níž se musí vyměnit čistící náplně v úpravě plynu před analyzátozem. To bylo nezbytné z důvodu ochrany analyzátoru před průnikem dehtovitých látek do měřících čidel a jejich zničení. Proto byla měření rozdělena do přibližně hodinových intervalů.

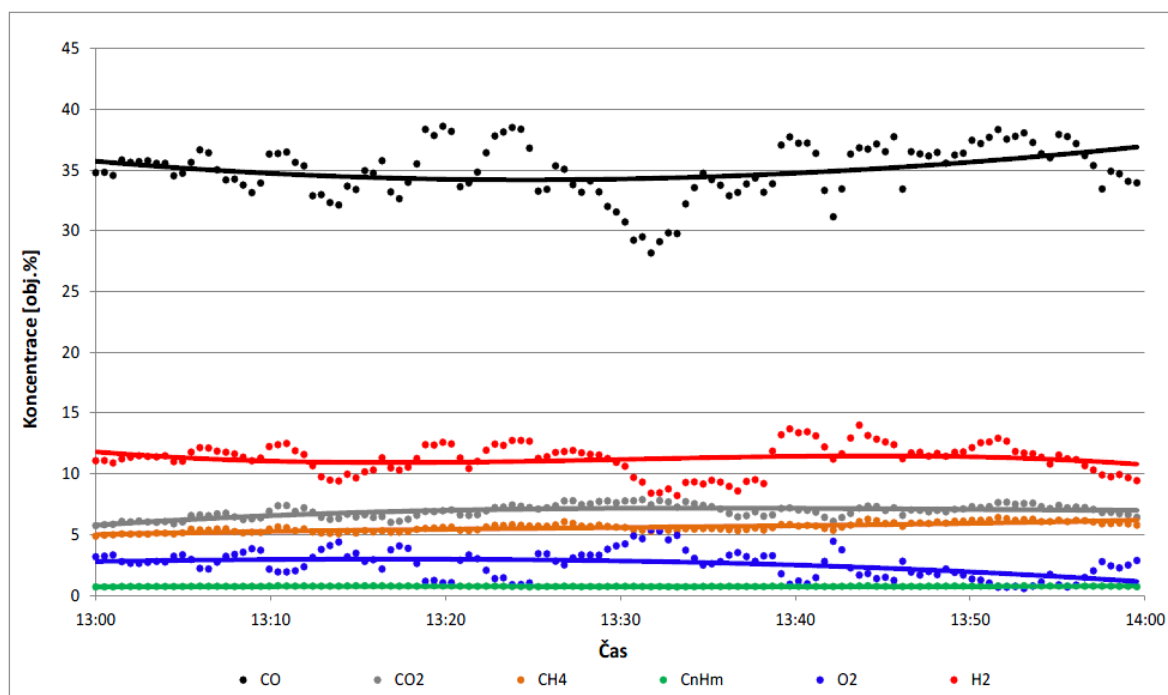
Průtok plynu analyzátozem během měření byl 1 ml/min, odečet hodnot složení plynu probíhal v intervalu 30 s. Pro stanovení přesnějších výsledků se měření provedlo dvakrát.

Samotné měření složení syntézního plynu probíhalo ve zplyňovacím generátoru č. 1. Ve zplyňovacím generátoru byly pro obě dvě měření simulovány podmínky běžného provozu.

- |                                                       |                                              |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| • Hladina štěpky ve zplyňovacím generátoru            | $L=2,8$ m                                    |
| • Teplota syntézního plynu za zplyňovacím generátorem | $T_{SG}=80$ °C                               |
| • Teplota pod roštem                                  | $T_R=120 - 150$ °C                           |
| • Množství primárního vzduchu                         | $M_{PV}=2000$ m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h |
| • Tlak primárního vzduchu                             | $p_{PV}=650 - 750$ Pa                        |
| • Pára do primárního vzduchu                          | ANO                                          |



Graf 7.1 Záznam z měření složení syntézního plynu během zkoušky č.1



*Graf 7.2 Záznam z měření složení syntézního plynu během zkoušky č.2*

### 7.2.2 Stanovení obsahu dehtu a tuhých znečišťujících částic v plynu

Z měření mezi generátorem GS1 a torzní komorou vyplývá, že obsah dehtovitých látek se pohybuje mezi 65,05 až 72,49 g/m<sup>3</sup><sub>N</sub> a obsah tuhých znečišťujících látek na úrovni 6,58 až 6,98 g/m<sup>3</sup><sub>N</sub>.

Označení odběru	-	D - 1	D - 2	D - 3	střední hodnota
Čas začátku odběru	hod	9:24	9:50	10:17	
Čas konce odběru	hod	9:44	10:10	10:37	
Atmosférický tlak	kPa	99,4	98,9	98,7	99
Teplota plynu v místě odběru	°C	108	111	108	109
Vlhkost plynu	% obj.	31,2	34,2	33,1	32,8
Koncentrace v suchém plynu při normálních podmínkách (0°C, 101325 Pa)					
Tuhé částice s dehtem	mg·m <sup>-3</sup> <sub>N</sub>	21 021,00	20 734,00	19 978,00	20 578
Tuhé částice bez dehtu	mg·m <sup>-3</sup> <sub>N</sub>	6 582,00	6 978,00	6 784,00	6 781
Dehet zachycený na filtru	mg·m <sup>-3</sup> <sub>N</sub>	14 439,00	13 756,00	13 194,00	13 796
Dehet prošlý filtrem	mg·m <sup>-3</sup> <sub>N</sub>	50 614,00	58 738,00	56 880,00	55 411
Dehet celkem	mg·m <sup>-3</sup> <sub>N</sub>	65 053,57	72 493,93	70 073,79	69 207,1

*Tabulka 7.1 Výsledky měření obsahu dehtů a tuhých znečišťujících látek*

## **8. Výpočet a tepelné bilance paliva kotle K6.**

Kapitola výpočet a tepelné bilance paliva pro kotel K6 obsahuje stechiometrické výpočty (výhřevnost, množství spalovacích vzduchů, množství spalin, koncentraci složek spalin), výpočet účinnosti nepřímou metodou dle normy ČSN 07 0302 a výpočet množství paliva.

Výpočet vychází ze složení paliva (syntézní plyn produkovaný zplyňovacími reaktory), jehož přesné složení bylo změřeno pracovníky Výzkumného energetického centra (viz kap. č.7).

### Základní parametry kotle K6 při provozu na 100% výkon

Název	Hodnota	Jednotka
Parametry kotle K6		
Průtok páry ( parní výkon )	75033	kg/h
Tlak páry	3,8	MPa
Teplota páry	440	°C
Teplota napájecí vody	145	°C
Teplota vody a páry		
Teplota vody před ECO 1	145	°C
Teplota vody za ECO 1	173	°C
Teplota vody za ECO 2	208	°C
Teplota vody za ECO 3	251	°C
Sytá pára na výstupu z kotlového tělesa	259	°C
Teplota páry za stěnovým přehřívačem	274	°C
Teplota páry za závěsnými trubkami	296	°C
Teplota páry za konvekčním přehřívačem	364	°C
Teplota páry za šotovým přehřívačem	440	°C
Teplota vzduchu a spalín		
Teplota vzduchu na vstupudo ohř.vzduchu 1	20	°C
Teplota vzduchu za ohř.vzduchu 1	196	°C
Teplota vzduchu za ohř. vzduchu 2	270	°C
Teplota spalín na výstupu z torzní komory	1170	°C
Teplota spalín za I.tahem kotle	729	°C
Teplota spalín za konvekčním přehřívačem	524	°C
Teplota spalín za ECO 1	295	°C
Teplota spalín za ohř.vzduchu 2	263	°C
Teplota spalín za ohř.vzduchu 1	184	°C

**Tabulka 8.1** Základní parametry kotle K6



### Složení paliva:

Složení paliva bylo určeno jako průměr, z hodnot měřených online při měření zplyňovacího zařízení pracovníky Výzkumného energetického centra v Žiaru nad Hronom.

- $\text{CO} = 23,5\%$
- $\text{CH}_4 = 3,5\%$
- $\text{H}_2 = 8,5\%$
- $\text{CO}_2 = 4,5\%$
- $\text{O}_2 = 2\%$
- $\text{N}_2 = 25\%$
- $\text{H}_2\text{O} = 33\%$
- Dehet =  $70 \text{ g/m}^3_{\text{N}}$

## 8.2 Výpočet výhřevnosti:

Výhřevnost je vypočítaná z hořlavých složek syntézního plynu a je zde taky připočten podíl výhřevnosti dehtů, kterých je velké množství.

$Q_i^{\text{dehtu}} = 33 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$  - Výhřevnost dehtů stanovená dle odborné literatury

$$Q_{i,pl}^r = V_{\text{CO}} \cdot Q_i^{\text{CO}} + V_{\text{H}_2} \cdot Q_i^{\text{H}_2} + V_{\text{CH}_4} \cdot Q_i^{\text{CH}_4} + V_{\text{dehtu}} \cdot Q_i^{\text{dehtu}} \quad [1]$$

$$Q_{i,pl}^r = 0,235 \cdot 12,64 + 0,085 \cdot 10,75 + 0,035 \cdot 35,8 + 0,07 \cdot 33$$

$$Q_{i,pl}^r = 7,447 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$$

## 8.3 Výpočet spalovacího vzduchu

### 8.3.1 Výpočet teoretického množství kyslíku

$$V_{\text{o}_2,t} = 2 \cdot \text{CH}_4 + 0,5 \cdot \text{CO} + 0,5 \cdot \text{H}_2 \quad [2]$$

$$V_{\text{o}_2,t} = 2 \cdot 0,035 + 0,5 \cdot 0,235 + 0,5 \cdot 0,085$$

$$V_{\text{o}_2,t} = 0,23 \text{ m}^3_{\text{o}_2} \cdot m_{\text{N,plynu}}^{-3}$$

### 8.3.2 Výpočet teoretického množství vzduchu

$$V_{VZ,t} = \frac{V_{O_2t}}{0,21} \quad [3]$$

$$V_{VZ,t} = \frac{0,23}{0,21}$$

$$V_{VZ,t} = 1,095 m_{VZ}^3 \cdot m_{N,plynu}^{-3}$$

### 8.3.3 Výpočet skutečného množství vzduchu

Přebytek vzduchu byl doporučen:  $n=1,4$

$$V_{VZ,sk} = n \cdot V_{VZ,t} \quad [4]$$

$$V_{VZ,sk} = 1,4 \cdot 1,095$$

$$V_{VZ,sk} = 1,533 m_{VZ}^3 \cdot m_{N,plynu}^{-3}$$

### 8.3.4 Výpočet skutečného, vlhkého množství vzduchu

Součinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti volíme:  $\gamma = 1,03$

$$V_{VZ,sk}^V = \gamma \cdot V_{VZ,sk} \quad [5]$$

$$V_{VZ,sk}^V = 1,03 \cdot 1,533$$

$$V_{VZ,sk}^V = 1,579 m_{VZ}^3 \cdot m_{N,plynu}^{-3}$$

## 8.4 Spaliny

### 8.4.1 Výpočet množství oxidu uhličitého ve spalinách

$$V_{CO_2} = CO_2 + CO + CH_4 \quad [6]$$

$$V_{CO_2} = 0,045 + 0,235 + 0,035$$

$$V_{CO_2} = 0,315 m_{CO_2}^3 \cdot m_N^{-3}$$

### 8.4.2 Výpočet množství kyslíku ve spalinách

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (n-1) \cdot V_{VZ,t} \cdot O_2 \quad [7]$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (1,4-1) \cdot 1,095 \cdot 0,02$$

$$V_{O_2} = 0,112 m_{O_2}^3 \cdot m_N^{-3}$$

#### 8.4.3 Výpočet množství dusíku ve spalínách

$$V_{N_2} = N_2 + 0,79 \cdot V_{VZ,sk} \quad [8]$$

$$V_{N_2} = 0,25 + 0,79 \cdot 1,533$$

$$V_{N_2} = 1,461 m_{N_2}^3 \cdot m_N^{-3}$$

#### 8.4.4 Výpočet množství vody ve spalínách

$$V_{H_2O} = H_2O + H_2 + 2 \cdot CH_4 + (v - 1) \cdot V_{VZ,sk} \quad [9]$$

$$V_{H_2O} = 0,33 + 0,085 + 2 \cdot 0,035 + (1,03 - 1) \cdot 1,533$$

$$V_{H_2O} = 0,531 m_{H_2O}^3 \cdot m_N^{-3}$$

#### 8.4.5 Celkové množství suchých spalín

$$V_{sp}^s = V_{CO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} \quad [10]$$

$$V_{sp}^s = 0,315 + 0,112 + 1,461$$

$$V_{sp}^s = 1,888 m_{sp}^3 \cdot m_N^{-3}$$

#### 8.4.6 Celkové množství vlhkých spalín

$$V_{sp}^V = V_{CO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} \quad [11]$$

$$V_{sp}^V = 0,315 + 0,112 + 1,461 + 0,531$$

$$V_{sp}^V = 2,419 m_{sp}^3 \cdot m_N^{-3}$$

### 8.5 Koncentrace složek ve spalínách

#### Koncentrace oxidu uhličitého ve spalínách

$$\omega_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{sp}^V} \cdot 100 \quad [12]$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{0,315}{2,419} \cdot 100$$

$$\omega_{CO_2} = 13\%$$

**Koncentrace dusíku ve spalínách**

$$\omega_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{sp}^V} \cdot 100 \quad [13]$$

$$\omega_{N_2} = \frac{1,461}{2,419} \cdot 100$$

$$\omega_{N_2} = 60,4\%$$

**Koncentrace kyslíku ve spalínách**

$$\omega_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{sp}^V} \cdot 100 \quad [14]$$

$$\omega_{O_2} = \frac{0,112}{2,419} \cdot 100$$

$$\omega_{O_2} = 4,6\%$$

**Koncentrace vody ve spalínách**

$$\omega_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{sp}^V} \cdot 100 \quad [15]$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{0,531}{2,419} \cdot 100$$

$$\omega_{H_2O} = 22\%$$

## 8.6 Výpočet účinnosti nepřímou metodou

Pro výpočet účinnosti je nezbytné určení popelové bilance, výhřevností a teplot:

Značka	Hodnota	Popis
$X_{\text{popel}}$	80 %	Stupeň zachycení popela
$X_{\text{popílek}}$	20%	Stupeň zachycení popílku
$C_{\text{popel}}$	4 %	Obsah hořlaviny v popelu
$C_{\text{popílek}}$	5%	Obsah hořlaviny v popílku
$A^r$	1,51 %	Množství popela v palivu
$Q_{i,dš}^r$	11 000 kJ·kg <sup>-1</sup>	Výhřevnost dřevní štěrky
$Q_{C_{\text{popel}}}$	32 600 kJ·kg <sup>-1</sup>	Výhřevnost hořlaviny v popelu
$Q_{C_{\text{popílek}}}$	32 600 kJ·kg <sup>-1</sup>	Výhřevnost hořlaviny v popílku
$t_{\text{sp}}$	184 °C	Teplota spalin
$t_{\text{popel}}$	80 °C	Teplota popela
$t_{\text{popílek}}$	184 °C	Teplota popílku
$k_1$	1,5	Konstanta pro plyn

**Obrázek 8.2** Tabulka potřebných hodnot pro výpočet účinnosti

### 8.6.2 Ztráta mechanickým nedopalem

a) Ztráta mechanickým nedopalem v popelu

$$\xi_{C_{\text{popel}}} = \frac{C_{\text{popel}}}{100 - C_{\xi}} \cdot \frac{X_{\text{popel}}}{100} \cdot \frac{A^r}{Q_{i,dš}^r} \cdot Q_{C_{\text{popel}}} \quad [16]$$

$$\xi_{C_{\text{popel}}} = \frac{4}{100 - 4} \cdot \frac{80}{100} \cdot \frac{1,51}{11000} \cdot 32600$$

$$\xi_{C_{\text{popel}}} = 0,149\%$$

b) Ztráta mechanickým nedopalem v popílku

$$\xi_{C_{\text{pop}}} = \frac{C_{\text{popílek}}}{100 - C_{\text{popílek}}} \cdot \frac{X_{\text{popílek}}}{100} \cdot \frac{A^r}{Q_{i,dš}^r} \cdot Q_{C_{\text{popílek}}} \quad [17]$$

$$\xi_{C_{\text{pop}}} = \frac{5}{100 - 5} \cdot \frac{20}{100} \cdot \frac{1,51}{11000} \cdot 32600$$

$$\xi_{C_{\text{pop}}} = 0,047\%$$

c) Celková ztráta mechanickým nedopalem

$$\xi_C = \xi_{Cpopel} + \xi_{Cpopilek} \quad [18]$$

$$\xi_C = 0,149 + 0,047$$

$$\xi_C = 0,169\%$$

### 8.6.3 Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků

a) Ztráta fyzickým teplem v popelu

$$c_{popel} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{popel} \quad [19]$$

$$c_{popel} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 80$$

$$c_{popel} = 0,752 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\xi_{Fpopel} = \frac{A^r}{100 - C_{popel}} \cdot \frac{X_{popel}}{Q_{i,dš}^r} \cdot c_{popel} \cdot t_{popel} \quad [20]$$

$$\xi_{Fpopel} = \frac{1,51}{100 - 4} \cdot \frac{80}{11000} \cdot 0,752 \cdot 80$$

$$\xi_{Fpopel} = 0,007\%$$

b) Ztráta fyzickým teplem v popílku

$$c_{popilek} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{popilek} \quad [21]$$

$$c_{popilek} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot 184$$

$$c_{popilek} = 0,804 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\xi_{Fpopilek} = \frac{A^r}{100 - C_{popilek}} \cdot \frac{X_{popilek}}{Q_{i,dš}^r} \cdot c_{popilek} \cdot t_{popilek} \quad [22]$$

$$\xi_{Fpopilek} = \frac{1,51}{100 - 5} \cdot \frac{20}{11000} \cdot 0,804 \cdot 184$$

$$\xi_{Fpopilek} = 0,003\%$$

c) Celková ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků

$$\xi_F = \xi_{Fpopel} + \xi_{Fpopilek} \quad [23]$$

$$\xi_F = 0,804 + 0,004$$

$$\xi_F = 0,01\%$$

#### 8.6.4 Ztráta chemickým nedopalem

Množství oxidu uhelnatého ve spalínách byl stanoven odhadem:

$$m_{CO} = 100 \text{ mg} \cdot m_N^{-3}$$

Přepočet množství oxidu uhelnatého na koncentraci ve spalínách:

$$1 \text{ ppm CO} = 1,145 \text{ mg} \cdot m_N^{-3} \quad [24]$$

$$\omega_{CO} = \frac{m_{CO}}{1,145} \quad [25]$$

$$\omega_{CO} = \frac{100}{1,145}$$

$$\omega_{CO} = 87,336 \text{ ppm}$$

$$\omega_{CO} = 0,0087\%$$

Výpočet ztráty chemickým nedopalem

$$\xi_{CHN} = \frac{100 - \xi_C}{100} \cdot \frac{V_{sp,sk}^S \cdot \omega_{CO} \cdot Qi_{CO}}{Q_{i,pl}^r} \quad [26]$$

$$\xi_{CHN} = \frac{100 - 0,196}{100} \cdot \frac{1,888 \cdot 0,0087 \cdot 12,610}{7,447}$$

$$\xi_{CHN} = 0,028\%$$

### 8.6.5 Ztráta citelným teplem spalín (komínová ztráta)

Výpočet měrné tepelné kapacity spalín

$$c_{psp} = 1,34876 + 2,05163 \cdot 10^{-4} \cdot t_{sp} - 2,52246 \cdot 10^{-8} \cdot t_{sp}^2 \quad [27]$$

$$c_{psp} = 1,34876 + 2,05163 \cdot 10^{-4} \cdot 184 - 2,52246 \cdot 10^{-8} \cdot 184^2$$

$$c_{psp} = 1,385 \text{ kJ/m}_N^3 \cdot K$$

Výpočet ztráty citelným teplem spalín

$$\xi_k = (100 - \xi_C) \cdot \frac{V_{sp,sk}^v \cdot c_{psp}}{Q_{i,pl}^r} \cdot (t_{sp} - t_{ok}) \quad [28]$$

$$\xi_k = (100 - 0,196) \cdot \frac{2,419 \cdot 1,379}{7447} \cdot (184 - 20)$$

$$\xi_k = 7,332\%$$

### 8.6.6 Ztráta sdílením tepla do okolí

Poměrná ztráta sdílením do okolí při jmenovitém výkonu

$$\xi_{svj} = k_1 \cdot P_{jm}^{-0,35} \quad [29]$$

$$\xi_{svj} = 1,5 \cdot 45,12^{-0,35}$$

$$\xi_{svj} = 0,395\%$$

Poměrná ztráta sdílením do okolí

$$\xi_{sv} = \xi_{svj} \cdot \frac{P_{jm}}{P_{sk}} \quad [30]$$

$$\xi_{sv} = 0,395 \cdot \frac{45,12}{0,8 \cdot 45,12}$$

$$\xi_{sv} = 0,494$$

Doporučení zvednout o 25%.

$$\xi_{sv} = \frac{\xi_{sv}}{100} \cdot 125 \quad [31]$$



$$\xi_{sv} = \frac{0,494}{100} \cdot 125$$

$$\xi_{sv} = 0,618\%$$

### 8.6.7 Celkové ztráty

$$\xi_{celkem} = \xi_C + \xi_F + \xi_{CHN} + \xi_k + \xi_{sv} \quad [32]$$

$$\xi_{celkem} = 0,196 + 0,01 + 0,028 + 7,332 + 0,618$$

$$\xi_{celkem} = 8,184\%$$

### 8.6.8 Celková účinnost

$$\eta = 100 - \xi_{celkem} \quad [33]$$

$$\eta = 100 - 8,184$$

$$\eta = 91,816\%$$

## 8.7 Množství paliva

### 8.7.1 Výpočet potřebného množství syntézního plynu

$$\dot{m}_{pal,pl} = \frac{P_{kotle}}{Q_{i,pl}^r \cdot \eta_{kotle}} \quad [34]$$

$$\dot{m}_{pal,pl} = \frac{36,59}{7,447 \cdot 0,91816}$$

$$\dot{m}_{pal,pl} = 5,351 m_{pl}^3 \cdot s^{-1}$$

### 8.7.2 Výpočet potřebného množství dřevní štěpky

$$\dot{m}_{pal,dš} = \frac{P_{kotle}}{Q_{i,dš}^r \cdot \eta_{kotle}} \quad [35]$$

$$\dot{m}_{pal,dš} = \frac{36,59}{11 \cdot 0,91816}$$

$$\dot{m}_{pal,dš} = 3,623 kg_{dš} \cdot s^{-1}$$

### 8.7.3 Výpočet potřebného paliva (dřevní štěpky) pro jeden reaktor

Celkové množství dřevní štěpky se dělí počtem reaktorů.

$$\dot{m}_{pal,dš,reaktor} = \dot{m}_{pal,dš} \cdot \frac{1}{4} \quad [36]$$

$$\dot{m}_{pal,dš,reaktor} = 3,623 \cdot \frac{1}{4}$$

$$\dot{m}_{pal,dš,reaktor} = 0,906 kg_{dš} \cdot s^{-1}$$

## **9. Návrh úprav zařízení pro zvýšení spolehlivosti provozu**

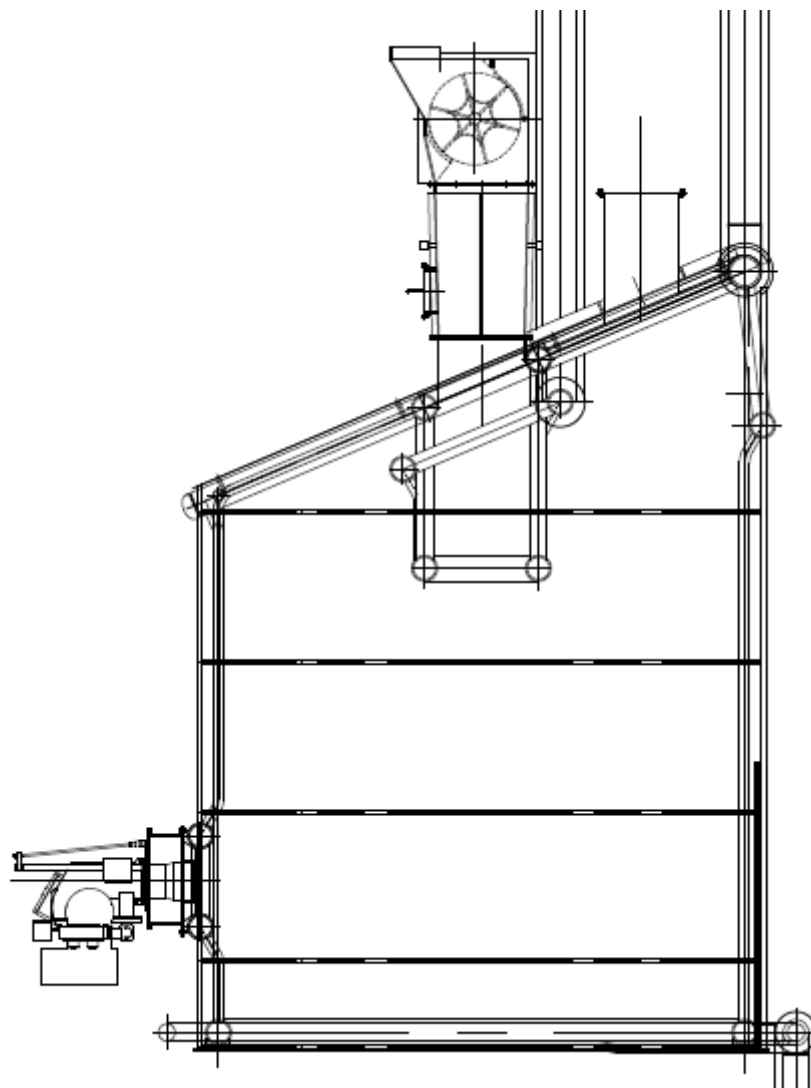
Jeden z problémů na teplárně Žiar nad Hronom, který jsem si vybral pro návrh zlepšení spolehlivosti provozu je problém s kontinuálním udržení hladiny zplyňované štěpky ve zplyňovacím reaktoru.

Stávající řešení problému je za pomoci radarového snímání, ze stropu reaktoru. Problém nastává za provozu, kdy při zplyňování vzniká velké množství dehtů, které kondenzují na snímacím zařízení radaru, a tak brání jeho provozu.

Mé řešení které navrhuji je jednoduché a postrádá přítomnost citlivé elektroniky a je velmi spolehlivé.

Spočívá v tom, že přívodní potrubí paliva do reaktoru prodloužíme zhruba do jedné třetiny reaktoru. Ve chvíli kdy hladina paliva dosáhne výšky přívodního potrubí, tak se potrubí ucpe a přestane dávkovat palivo do reaktoru. Samozřejmě dojde taky zastavení turniketového podáváče, který přivádí palivo do potrubí. Přívodní potrubí uvnitř reaktoru je tvořeno membránovou stěnou ze svislých trubek a je tedy chlazené.

Schéma navrhované úpravy:



## **10. Závěr**

Tato diplomová práce se zabývá zplyňováním dřevní štěpky v předřazené technologii kotle K6 o výkonu 75t/h páry v Teplárně Žiar nad Hronom.

V teoretické části byla věnována část problematice zplyňování, porovnání jednotlivých druhů zplyňování. Dále se diplomová práce zabývá zplyňovacím zařízením a kotlem K6 v Žiaru nad Hronom s detailním popisem jednotlivých zařízení. Součástí diplomové práce je a výsledky měření, které bylo provedeno na samotném zplyňovacím zařízení. Cílem tohoto měření bylo určení složení generovaného plynu ze zplyňovacího zařízení. Toto zjištěné složení plynu, bylo ve výpočtové části diplomové práce použité pro výpočet stechiometrie. Výpočtová část obsahuje i výpočet účinnosti a spotřebu paliva. Další kapitola se věnuje návrhu úpravy zařízení pro zvýšení spolehlivosti provozu (součástí je schéma a výkres).

Součástí diplomové práce jsou grafické práce. Výkres kotle K6 se zplyňovacími jednotkami a dalšími zařízeními. A poslední bude zpracovaný technický výkres navržené úpravy zařízení pro zvýšení spolehlivosti provozu.

## **11. Seznam použité literatury**

1. Černý V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975
2. ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů
3. Dlouhý T. Výpočty kotlů a spalinových výměníků, skripta ČVUT Praha 2005
4. Rajniak I. Tepelno-energetické a emisné merania
5. Kolektiv autorů, Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, Golden Colorado 1988
6. Predbežné prevádzkové predpisy, Dalkia Industry Žiar na Hronom, a.s. 2013
7. Zmena palivovej základne kotla K6, Dalkia Industry Žiar na Hronom, a.s. 2011
8. Najser J., Zpráva z měření parametrů zplyňovacího zařízení Dalkia Industry Žiar nad Hronom, Výzkumné energetické centrum 2014
9. Ochodek T., Koloničný J., Bran M., Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy, skripta VŠB Ostrava 2007
10. Kolektiv autorů Handbook Biomass Gasification, Enschede BTG: biomass technology group 2005
11. Chrs V., Zplyňování dřevního odpadu pro náhradu ušlechtilých paliv a pro výrobu el. energie, Praha: ČEA, 1997
12. Branc M., Zplyňování biomasy, skripta VŠB Ostarava 2007
13. <http://biom.cz/>
14. <http://www.alternativni-zdroje.cz/>
15. <http://www.economy.gov.sk/>
16. <http://www.dalkia.sk/>
17. [vec.vsb.cz/](http://vec.vsb.cz/)
18. [www.enviroportal.sk](http://www.enviroportal.sk)

## **12. Seznam příloh**

1. Výkres kotle K6 a zplyňovacího zařízení, Číslo výkresu: DP-FOJ-02
2. Výkres navrhované úpravy, Číslo výkresu: DP-FOJ-01